

Aus der Prothetischen Abteilung
der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. K. Fuhr)

**Über den Einfluß des wiederholten Einschmelzens
auf die Zugfestigkeit von Degulor M**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von
Hans Geisler
aus Nackenheim

Mainz 1972

1973

ÜBER DEN EINFLUSS DES WIEDERHOLTEN EINSCHMELZENS
AUF DIE ZUGFESTIGKEIT VON DEGULOR M

vorgelegt von
Hans Geisler

Aus der Prothetischen Abteilung
der Klinik und Poliklinik
für
Zahn-, Mund - und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. K. Fuhr)

ÜBER DEN EINFLUSS DES WIEDERHOLTEN EINSCHMELZENS
AUF DIE ZUGFESTIGKEIT VON DEGULOR M

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg - Universität
Mainz

vorgelegt von
Hans Geisler
aus
Nackenheim

Mainz 1972



DEKAN : Prof. Dr.K.H.Bäbler
REFERENT : Prof. Dr.H. Marx
KORREFERENT:Prof. Dr.K. Fuhr

Tag der mündlichen Prüfung: 25.1.73

MEINEM VATER GEWIDMET



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554409_0105

INHALTSVERZEICHNIS :

I.	Einleitung	Seite: 1
II.	Bemerkung zum Thema	" 3
III.	Aufgabenstellung	" 8
IV.	Eigene Untersuchungen	" 17
	A. Methodik	" 17
	B. Herstellung der Güsse	" 25
	C. Versuchsprogramm	" 30
	D. Ergebnisse	" 32
	1. Statistische Auswertung	" 32
	2. Beschreibung und Erörterung der Ergebnisse	" 42
	3. Zusammenfassung der Ergebnisse	" 46
	E. Anhang	" 48
	1. Tabellen der Messwerte	" 48
	2. Graphische Darstellungen	" 56
V.	Literaturverzeichnis	" 63

I. EINLEITUNG :

Bei den ersten Versuchen, Zahnersatz auf dem Gußweg herzustellen, zeigten sich viele Mißerfolge. Zunächst einmal waren die Formen nicht ausgeflossen. Aber auch an gelungenen Güssen konnten Fehler wie Paßungenauigkeit und zu geringe Festigkeit festgestellt werden.

Laufende Veränderungen der Verarbeitungsmethoden und der Legierungszusammensetzung haben dazu beigetragen, dass das Vergießen der Legierung kaum noch Schwierigkeiten bereitet und zu brauchbaren Ergebnissen führt.

Heute darf man von einem gegossenen Zahnersatz, der im Mund eingefügt ist, eine lange Haltbarkeit erwarten. Schäden, die sofort oder nach kürzerer Zeit an einer gut durchkonstruierten Arbeit auftreten, dürften auf falsche Wahl des Materials oder falsches Vorgehen bei der Herstellung zurückzuführen sein.

Von Zahntechniker und Zahnarzt werden deshalb Kenntnis über Material und Verarbeitungsmöglichkeiten verlangt. Es bestehen in Deutschland bei der "Arbeitsgemeinschaft für zahnärztliche Materialkunde", bei der "American Dental Association" und dem "Bureau of Standards" in Washington Richtlinien zur Prüfung fertigverarbeiteter Werkstücke, die dauernd im Mund des Patienten verbleiben. Sie umfassen folgende Punkte:

1. Mechanische Festigkeit (Druck, Zug, Biegung)
2. Härte
3. Löslichkeit
4. Absorption
5. Wärmeleitfähigkeit

6. Dichtigkeit
7. Durchsichtigkeit und Farbe
8. Form - und Volumenverhalten
9. Adaption und Fixation an der lebenden Unterlage
10. Beeinflussung der lebenden Unterlage.

II. BEMERKUNGEN ZUM THEMA :

Gebräuchliche Goldgußlegierungen, die im Munde verwendet werden, gelten weitgehend als physiologisch unbedenklich, weil sie vom Gewebe gut vertragen werden. Andererseits besitzen die Legierungen eine hohe mechanische Festigkeit und Korrosionsfestigkeit. Somit werden sie in der Mundhöhle kaum verändert.

Diese Verträglichkeit ist nur gewährleistet, wenn die Legierung zwei Forderungen erfüllt:

1. Die Legierung muß aus bestimmten Grundstoffen in einem richtigen Mischungsverhältnis zusammengesetzt sein und
2. eine bestimmte Struktur aufweisen.

Legierungen für zahnärztlichen Gebrauch sind aus mehreren edlen und unedlen Metallen zusammengesetzt, die in einem festgelegten Verhältnis - entsprechend der Legierungsbezeichnung - zueinander stehen.

Wird eine solche Legierung eingeschmolzen, so mischen sich alle Bestandteile gleichmäßig und vollständig ineinander. Nach erfolgtem Guß gibt die Schmelze Wärme ab, und die Bewegungen der Atome der einzelnen Legierungsbestandteile lassen verschieden stark nach. In den nun entstehenden Kristallen können sich die Atomarten auf Grund ihrer unterschiedlichen Bewegungsminderung nicht mehr gleichmäßig mischen. In den Kristallen kommt es zur Bildung von Stellen unterschiedlicher Konzentration. Das abgekühlte Werkstück besteht dann aus inhomogenen Mischkristallen.

Eine anschließende Wärmebehandlung, die Homogenisieren genannt wird, ermöglicht eine homogene Anordnung der Legierungsbestandteile in den Kristallen.

Eine andere Form der Wärmebehandlung - bekannt als Vergüten - fördert die Ausscheidung von chemischen Verbindungen einiger Grundkomponenten zwischen den Kristallen der Legierung, soweit es sich um eine vergütbare Legierung handelt.

Für das Werkstück ist es nun von Bedeutung, ob es sich aus inhomogenen oder homogenen Mischkristallen zusammensetzt und eventuell interkristalline Ausscheidungen besitzt. Diese unterschiedliche Struktur macht es verschieden widerstandsfähig gegen chemische und physikalische Kräfte. Dementsprechend ist die im Mund eingesetzte Arbeit mehr oder weniger wertvoll.

Manche moderne Gold- Platin- Legierungen zeigen nach dem Guß ein ausreichend homogenes Gefüge und eine ausreichende Ausscheidung zwischen den Kristallen. Bei diesen Legierungen entfallen somit die Arbeitsgänge des Homogenisierens und Vergütens.

In zahntechnischen Laboratorien ist es üblich, Reste von alten Güssen für die Herstellung neuer Arbeiten zu verwenden bzw. neuem Material beizufügen. Es steht fest, dass alte Gußmassen, die den gleichen Prozess mehrmals durchgemacht haben, also auch häufig geschmolzen wurden, eine andere Zusammensetzung in den Grundkomponenten und eine Änderung der Struktur aufweisen. Ein aus ihnen hergestellter Körper muß daher neben einer veränderten Zusammensetzung und Struktur auch eine andere Widerstandsfähigkeit haben als ein solcher, der nur mit neuem Material gegossen wurde.

Das wiederholte Vergießen einer Legierung und die Verwendung alten Gußmaterials ist in der Literatur mehrmals erwähnt worden.

Nach WAGNER (16) können Gußkegel, verlorene Köpfe, Blech- und Drahtschnipfel meist zusammen mit etwa zwei Drittel neuer Legierung eingeschmolzen und zu Gußarbeiten weiter verwandt werden".

WEIKART (19) lässt die Wiederverwendung von Gußkegeln zu, "sofern man mindestens die Hälfte des Gewichts an neuen Gußwürfeln zusetzt".

SKINNER und PHILLIPS (15) geben an, dass eine Legierung zwei- bis dreimal wieder eingeschmolzen werden kann, bis wichtige Veränderungen in der Zusammensetzung eintreten. Zur Veränderung der Legierung bemerken sie: "Das einzige Element, das sich wahrscheinlich während des Erhitzens verflüchtigt, ist Zink. Wie zuvor bemerkt wurde, ist die Hauptfunktion des Zinks, die Oxydbildung zu verhindern. Da der Zinkgehalt abnimmt, steigt die Tendenz der Legierung zu oxydieren. Gewöhnlich kann dieses Fehlen von Zink genügend ausgeglichen werden durch Hinzufügen neuer Legierung zu dem geschmolzenen Metall, soweit es als notwendig erscheint".

Zur Oxydation unedler Legierungsbestandteile erwähnt MOELLER (11): "So werden an leicht oxydierbaren Komponenten u.a. Kupfer und Zink vorhanden sein, die bei mehrmaligem und unvorsichtigem Schmelzen und Gießen der Legierung leicht Oxyde bilden....". Oxydation der unedlen Komponenten bedeuten für die Legierung eine Änderung in ihrer Zusammensetzung. MOELLER (11) behauptet, dass durch den Vorgang der Oxydation sogar einige der Komponenten ganz verschwinden können. Er hält es für einen großen Nachteil für die Qualität und Festigkeit des Gußobjektes, wenn die Verunreinigung durch Oxyde sich nicht nur an der Oberfläche vollzieht, sondern bis in die Tiefe des Metalls reicht.

DEGUSSA (3) empfiehlt das getrennte Einschmelzen von alten Gußkegeln unter Zufügung von genügend Schmelzpulver. Sie sollen dadurch von Einbettmasseresten und Oxyden gereinigt werden. Erst dann sind sie zum Guß zu verwenden.

COLEMAN (2) untersucht die Aufnahme von Luftgasen in die unter verschiedenen Bedingungen geschmolzene Legierung. Er bestimmt die Menge der Gase, die eine fabrikneue, gasfreie Legierung im flüssigen Zustand aufnimmt und kommt zu folgendem Ergebnis :

1. Die geschmolzene Legierung bildet Metalloxyde, sobald sie mit Sauerstoff in Berührung kommt.
2. Beim Vergießen von Legierungen im zahntechnischen Laboratorium wird entsprechend den Verarbeitungsmethoden viel mehr Sauerstoff aufgenommen, als bei der fabrikmäßigen Herstellung der Legierung.
3. Wird beim Vergießen der reduzierende Teil der Gasflamme als Wärmequelle nicht angewandt oder auf den Schutz eines Flußmittels verzichtet, so nimmt die Legierung die doppelte Menge an Sauerstoff auf.

Unedle Legierungsanteile, die sich mit Sauerstoff verbunden haben, können ihre Funktionen wie Erniedrigen des Schmelzpunktes, Dünflüssigmachen der Legierung beim Schmelzen nicht erfüllen. Außerdem fallen die Vorgänge des Homogenisierens und Vergütens beim Abkühlen weg. Als Schlackenteile werden die Oxyde das Kristallgefüge verunreinigen und die Homogenität der Legierung verändern. Dementsprechend muß das Widerstandsvermögen herabgesetzt sein.

WENNSTRÖM (20) konnte feststellen, dass verschiedene Gußapparate das spezifische Gewicht von Goldlegierungen unterschiedlich beeinflussen. Veränderungen von Gußtemperatur, Luftdruck und mehrfaches Vergießen sollen ebenfalls zu Änderungen der Dichte führen.

LEINFELDER (9) mißt nun die Änderung des spezifischen Gewichtes einer Goldlegierung nach mehrmaligem Einschmelzen. An Hand von Schliffbildern, die zur Beobachtung der Lunkerbildung dienen, kommt er zu folgendem Ergebnis (Übersetzung) : "Das spezifische Gewicht einer fabrikneuen Goldlegierung wird konstant, nachdem sie den Prozess des dreimaligen Schmelzens und Erstarrens durchgemacht hat".

Die Ursachen, die zur Veränderung einer Legierung nach wiederholtem Einschmelzen führen, sind erkannt worden. Es liegen von Seiten der Autoren entsprechende Empfehlungen vor, um die guten Eigenschaften bei der Verarbeitung nach Möglichkeit zu erhalten.

SCHOLZ (13) UND KNEGTEEN (7) haben Degulor M, eine moderne Platin- Goldlegierung der Firma Degussa, zehnmal vergossen und nach jedem Guß eine Härtemessung durchgeführt. Sie konnten somit den Einfluß des wiederholten Vergießens auf die Härte der Legierung beschreiben. Weil Härtemessungen geeignet sind, eine Teilaussage über die Widerstandsfähigkeit und damit über den Wert der Legierung und ihre Wiederverwendbarkeit zu machen, sind diese Meßwerte für die Praxis von Bedeutung.

III. AUFGABENSTELLUNG :

Bei der Suche nach Metallen und Legierungen für zahnärztliche Zwecke bestimmen vor allem Verarbeitungsmöglichkeit und Verwendung die Auswahl. Vom Werkstoff wird verlangt, daß er weich und damit leicht verformbar ist. Das fertige Werkstück aber, das im Mund eingesetzt werden soll, muß eine Festigkeit aufweisen, die es gegenüber mehreren Belastungen widerstandsfähig macht.

WEIKART (19) definiert die Festigkeit von Metallen und Legierungen als die "Größe des Widerstandes, den ein Werkstoff der Trennung seiner einzelnen Teile entgegensetzt".

Entsprechend der Art der angreifenden Kräfte wie Zug, Schub oder Verdrehung nennt er das Widerstandsvermögen "Zerreiße-festigkeit, Scherfestigkeit, Druckfestigkeit oder Verdrehung bzw. Torsionsfestigkeit".

Weil die genannten Eigenschaften alle aufeinander zurückzuführen sind, schlägt er zur Bestimmung der Festigkeit den Zugversuch und die dadurch zu ermittelnde Bruchfestigkeit SIGMA - B bzw. die Zerreiße-festigkeit SIGMA - Z vor.

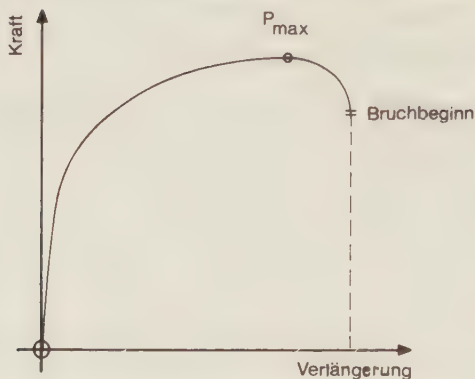
Über die Vorgänge im Werkstück oder Prüfkörper bei Angreifen einer Zugbelastung schreibt WEIKART (19): "Die Kraft, welche die kleinen und kleinsten Teilchen zusammenhält, nannten wir Kohäsion. Die zwischenkristalline Kohäsion ist manchmal größer, manchmal kleiner als die innerkristalline Kohäsion, welche die Bausteine der Kristalle verbindet. Wird die Kohäsion überwunden, so geht der Riß entlang der Kristallfugen oder durch die Kristalle hindurch. Die zwischenkristalline Festigkeit ist gewöhnlich schwächer als die innerkristalline, sie wird beim Zugversuch früher überwunden und bestimmt die maximale Bruchfestigkeit".

Ein metallischer Prüfkörper in Gestalt eines Stabes, der in Richtung seiner Achse auseinandergezogen wird, macht bis zum Zerreißen mehrere Stadien durch:

1. Zunächst soll eine Dehnung mit geringer Kraft erfolgen, damit die Verformung vollkommen elastisch ist. Falls die Kraft aufgehoben wird, nimmt der Körper seine ursprüngliche Form wieder an.
2. Bei Steigerung der Kraft zeigt sich, dass eine irreversible Verformung auftritt. Die Grenze der elastischen Dehnung wurde überschritten und die erfolgte plastische Deformation ist proportional der angewandten Kraft.
3. Ab einem bestimmten Kraftmaß fängt der Prüfkörper an zu fließen, weil die Kohäsion überwunden ist. Dieses Maß entspricht der Fließgrenze oder Streckgrenze des Materials.
4. Bei weiterer Streckung zeigt sich, dass die Kraftsteigerung wesentlich geringer ist und einen Gipfel nicht überschreitet. Der Gipfel ist mit der anfangs genannten Zerreißfestigkeit identisch (s. Seite 8).
5. Wird die Dehnung fortgesetzt, so fällt die Kraft ab. Alsbald zeigt sich eine Einschnürung, die zu einem Riß führt.

Abb. 1 zeigt das Kraft - Verlängerungs- Diagramm mit stetigem Verlauf (DIN 50145 - 2), wie es annähernd für die hier benutzten Proben zutrifft. Zum Vergleich sei auf Abb. 7 - Seite 23 - verwiesen. Der Gipfel $P_{\max}$ entspricht der Zerreißfestigkeit bzw. Zugfestigkeit.

Abb. 1: Kraft - Verlängerungs - Diagramm



Die einzelnen Stadien oder Grenzen stellen auf Grund des stetigen Kurvenverlaufs keine markanten Punkte dar, sondern zeigen vielmehr einen fließenden Übergang.

Hier soll nun untersucht werden, welchen Einfluß das mehrfache Einschmelzen von Degulor M auf die Zerreißfestigkeit der Legierung hat. Außerdem werden verschiedene Gußverfahren und Behandlungsmethoden vor dem erneuten Einschmelzen zur Anwendung kommen, damit auch die durch sie hervorgerufenen Änderungen der Zerreißfestigkeit registriert werden können. Die Goldlegierung wird mit zwei gebräuchlichen Schmelzvorrichtungen gegossen. Es gilt ihren Einfluss auf die Zerreißfestigkeit zu vergleichen. In einer Versuchsreihe wird die Legierung im reduzierenden Milieu des Kohletiegels auf elektrischem Wege geschmolzen. In einer anderen erfolgt die Verflüssigung unter einer Gasflamme in einer Keramikschmelzmulde mit Verwendung von Schmelzpulver. Der mehrmals gegebenen Empfehlung, zu altem Material eine entsprechende Menge Neumetall hinzuzufügen, soll bei einer Versuchsreihe

durch Hinzugabe von 1/3 Neumetall zwischen den Güssen entsprochen werden. Hiermit kann geprüft werden, in wie weit eine Neumetallzugabe erforderlich ist. Die Autoren empfehlen, Gußreste vor der weiteren Verwendung mit Schmelzpulver einzuschmelzen, anstatt abzusäuern. Auch dieser Vorschlag ist in einer Versuchsreihe zu berücksichtigen und es wird sich zeigen, ob dieser zusätzliche Arbeitsgang beim Gießen notwendig ist.

Wenn man die hier aufgeführten Möglichkeiten kombiniert, wird sich vielleicht eine Methode ergeben, bei der die Änderung der Zerreißfestigkeit nach wiederholtem Vergießen am günstigsten ausfällt. Auch kann sich bei den einzelnen Methoden herausstellen, wie oft die Legierung zu schmelzen ist, um zu Werten zu gelangen, die in der Praxis noch vertretbar sind. Vielleicht können Schliffbilder die Ergebnisse bestätigen und zur Klärung beitragen.

Über den Zugversuch, der unter anderem auch zur Bestimmung der Zerreißfestigkeit benutzt wird gibt DIN 50145 - 1 folgende Auskunft: "Der Zugversuch dient zur Ermittlung des Werkstoffverhaltens unter einachsiger, über den Querschnitt gleichmäßig verteilter Zugbeanspruchung. Beim Zugversuch wird eine Zugprobe (z.B. nach DIN 50125) einer langsam und stetig zunehmenden Dehnung unterworfen und die dazu erforderliche Kraft P gemessen". Der Zerreißfestigkeit entspricht die "Zugfestigkeit SIGMA B" (DIN 50145 - 3.1). Sie ist die auf den Anfangsquerschnitt F_0 der Probe bezogene Höchstkraft $P_{\max}$

$$\text{SIGMA} - \text{B} = \frac{P_{\max}}{F_0}$$

Durch DIN 50145 - 4.2 und 4.3 sind für den Prüfkörper folgende Verhältnisse festgelegt:

Bei Proben mit rundem Querschnitt ist die Messlänge L_0 um den Faktor 5 bzw. 10 größer als der Durchmesser d_0 . Werden Proben mit nichtrundem Querschnitt verwendet, so gilt für die Messlänge L_0 (wobei F_0 die Querschnittsfläche in der Messstrecke ist)

$$L_0 = 5,65 \sqrt{F_0} \text{ bzw. } L_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$$

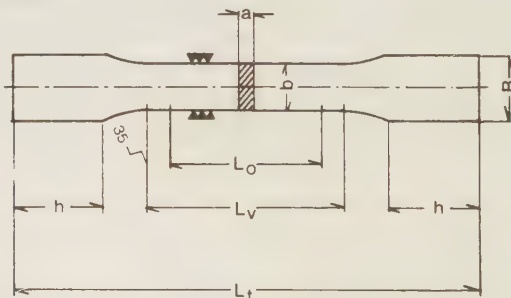
Zugproben mit den genannten Verhältnissen zwischen Messlänge L_0 und Durchmesser d_0 bzw. Querschnittsfläche F_0 heißen Proportionalstäbe.

Nach den Faktoren 5 bzw. 5,65 und 10 bzw. 11,3 werden kurze und lange Proportionalstäbe unterschieden (DIN 50125 - 5). Proben mit rechteckigem Querschnitt sollen ein Seitenverhältnis von 1:4 nicht überschreiten (DIN 50125 - 4).

Nach der Befestigungsmöglichkeit, die die Enden einer Probe bieten, sind gemäß DIN 50125 - 7.1 bis 7.5 zu unterscheiden :

1. Rundproben mit glatten Zylinderköpfen zum Einspannen in Beißbacken.
2. Rundproben mit Gewindeköpfen
3. Rundproben mit Schulterköpfen
4. Rundproben mit Kegelköpfen
5. Flachproben mit Köpfen für Beißkeile (s. Abb. 2)

Abb. 2 : Flachprobe mit Köpfen für Beißkeile



a = Probedicke	L_v = Versuchslänge = $L_o + b$
b = Probekbreite	L_o = Messlänge
B = Kopfbreite	$(= 5,65\sqrt{F_o} \text{ od. } 11,3\sqrt{F_o})$
(ungefähr $1,2 b + 3 \text{ mm}$)	L_t = Gesamtlänge
F_o = Probequerschnitt	h = Kopfhöhe
	(ungefähr $2 b + 10 \text{ mm}$)

Von der DIN - Vorschrift werden für diese Probe die Maße $a = 5\text{mm}$, $b = 16\text{mm}$ und $L_o = 50\text{mm}$ empfohlen.

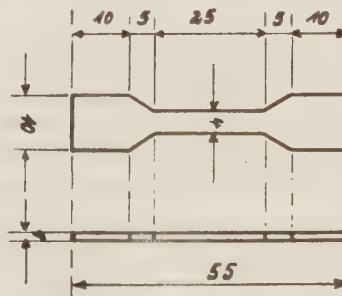
Die Abmessungen der Proben und ihrer Befestigungsenden sind vorgeschrieben und können also aus den DIN-Tabellen entnommen werden.

Die in der Fachliteratur vorgeschlagenen Probeformen sollen hier kurz erwähnt werden.

KÜHL (9) gebraucht einen Prüfkörper zur Ermittlung der Zugfestigkeit an gegossenen Proben (Abb.3), der zwar von den DIN-Normen (DIN 50148 u. DIN 50149 für gegossene Prüfproben) auf Grund seiner Größe abweicht, aber im üblichen zahntechnischen Gießverfahren herzustellen ist.

Abb. 3:

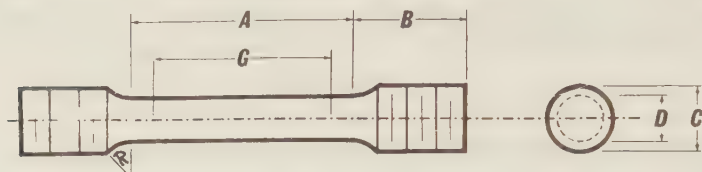
Zugprobe nach KÜHL



Es handelt sich um einen Flachstab, an dem auch noch die Härte nach dem Vickers - Verfahren bestimmt werden kann. Die im Bild angegebenen Abmessungen tragen die Einheit (mm) . Die Probe hat eine Dicke von 1 mm.

GETTLEMAN und HARRISON (7) verwenden einen Prüfkörper, der an den Enden ein international metrisches Gewinde eingeschnitten hat. (Abb. 4)

Abb. 4 : Zugprobe nach GETTLEMAN und HARRISON



Seine Maße betragen :

$A = 12,5 \text{ mm}$; $B = 6,25 \text{ mm}$; $C = 3,67 \text{ mm}$; $D = 2,5 \text{ mm}$;

$G = 10 \text{ mm}$; $R \approx 2 \text{ mm}$.

Diese Konstruktion richtet sich nach den ASTM - Bestimmungen E 8 - 66 der "American Society for Testing and Materials"

(1). Allerdings ist die Messstrecke zu kurz um etwa einen Dehnungsnehmer anzusetzen, wie er in dieser Arbeit benutzt wird (Seite 22).

Von der FDI (Fédération Dentaire Internationale) wird ein zylindrischer Prüfstab vorgeschlagen, der folgende Abmessungen haben soll :

Gesamtlänge = 90 mm, Messlänge = 50 mm,

Durchmesser = 2 - 2,5 mm.

Der Körper zeigt an den Einspannenden wie auch in der Messstrecke den gleichen Querschnitt. Kerben, die durch die Einspannvorrichtung erzeugt werden, müssen zum Riß des Stabes außerhalb der Meßstrecke führen. Für die Auswertung des Versuches ist aber die Rißentstehung innerhalb der Messstrecke erforderlich.

WAGNER (17) berichtet, dass mehrere Versuche eine starke Abhängigkeit der Ergebnisse von der Probenform gezeigt haben. Verstärkung der Querschnitte und Verkürzung der Proben soll zu einer Erhöhung der Messwerte führen. Der Autor schlägt

einen Rundstab mit verdickten Enden vor. Seine Maße betragen: Länge = 80 mm, Meslänge = 50 mm, Durchmesser in der Messstrecke = 2,5 mm.

Leider läßt sich der angegebene Prüfkörper auf Grund seiner Länge mit den gebräuchlichen Laborgeräten nur schlecht herstellen.

MARX (10) fordert eine einheitliche Prüfkörperform zur Ermittlung der Festigkeit an gegossenen Proben um vergleichbare und damit praxisnahe Messwerte zu erhalten. Dieser Prüfkörper soll folgende Forderungen erfüllen:

1. Maße entsprechend der Größe von zahntechnischen Werkstücken; somit Herstellung im Labor möglich, geringes Gewicht (Edelmetall - Legierungen sind teuer!)
Mindestmaß der Messtrecke 20,0 mm, damit elektronischer Dehnungsnehmer angesetzt werden kann (s.S.22);
flacher Prüfkörper, damit direkt Härte (nach Vickers) gemessen werden kann;
2. praxisnahe Herstellung mit Einbettungs- und Schmelzverfahren, die im Labor üblich sind;
3. Festlegung des Anschnittsystems (Maße der Gußkanäle und ihre Lage zum Prüfkörper) - somit geringere Streuung der Messwerte durch lunkerfreie Proben (geringe Abweichung vom Anschnittsystem führt zu Lunkerbildung);
4. Festlegung bzw. Angabe der thermischen Bedingungen beim Vorwärmen und Schmelzen;
5. Festlegung der Bearbeitung nach dem Guß mit laborüblichen Verfahren (z.B. Sandstrahlen);
6. Festlegung bzw. Angabe von Art und Bedingungen einer thermischen Nachbehandlung (Vergütung, Anlassen usw.)

7. Leichte Einspannbarkeit unter Ausschaltung von Nebenwirkungen (z.B. Kerbwirkung, Verkantung, Torsion usw.). Anbringen von Gewinden an den Prüfkörperenden nur mit größtem technischen Aufwand möglich
8. Festlegung der Prüfgeschwindigkeit
9. Verwendung des Prüfkörpers für Edelmetallegierungen und Kobalt- Chrom- Legierungen erwünscht.

Zur Durchführung der hier vorgesehenen Untersuchungen (s.S. 10 u. 31) ist eine größere Anzahl von Proben erforderlich. Deshalb besteht zunächst die Aufgabe, eine Prüfkörperform zu entwickeln, von der eine bestimmte Stückzahl mit einfachen Labormitteln hergestellt werden kann. Diese Form muß in handelsübliche Muffeln eingebettet werden können. Weiterhin sollen die Abmessungen des Anschnittsystems bei jeder Einbettung übereinstimmen.

IV. EIGENE UNTERSUCHUNGEN :

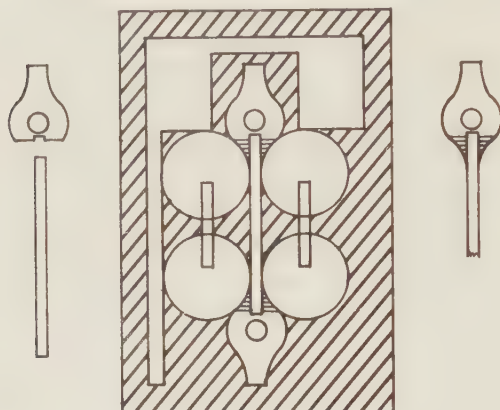
A. Methodik :

In den Voruntersuchungen wurden verschiedene Einbettmassen und Einbettungsmethoden durchprobiert. Es zeigte sich, dass bei gleichen Gießbedingungen und bei gleichem Anschnittssystem unter Verwendung verschiedener Einbettmassen Defekte im Messtreckenteil der Proben auftraten. Entweder waren sofort nach dem Ausbetten der gegossenen Proben Kontraktionsrisse mit dem Auge erkennbar, oder die Zugfestigkeit wurde durch sichtbar große Lunker an der Bruchstelle stark herabgesetzt.

Zur Konstruktion des Prüfkörpers standen gefräste Plexiglasstäbchen mit rechteckigem Querschnitt zur Verfügung. An den Enden der Stäbchen wurden Aufhängeschlaufen mit flüssigem Wachs angeklebt. Diese Schlaufen wurden mit einer scharfen Form aus einer 1 mm dicken Wachsplatte ausgestanzt. Durch den beim Stanzen entstandenen Randaufwurf konnten die Schlaufen nicht plan aufliegen. Durch Reiben auf einer feinen Schmirgelscheibe erhielten sie wieder die Stärke von 1 mm. Zum Ankleben an die Stäbchen diente eine einfache Vorrichtung (Abb. 5)

Es handelt sich um 4 gefräste Messingscheiben, die auf einer Plexiglasplatte plan aufliegen. Zwischen den Scheiben wird der Stab eingeklemmt, An seine Enden werden die Aufhängeschlaufen herangeschoben. Die Plexiglasplatte und die 4 Scheiben müssen zuvor mit einem Isolationsmittel eingerieben werden. In die Räume zwischen Messingscheiben, Stab und Aufhängeschlaufen, die durch eingezogene waagerechte Striche gekennzeichnet sind, wird heißes Wachs eingetropft. Nach dem Erkalten werden die Scheiben zur Seite weggezogen. Mit einem Skalpel kann der beim Eintropfen zu hoch gezogene Wachsrand, ohne auf dem Stab Kratzer zu hinterlassen, entfernt werden.

Abb. 5 Vorrichtung zum Zusammensetzen der
Prüfkörpermodelle



Für die Durchführung der Messung ist es wichtig, dass die Mitte der Messtrecke und die Löchermitte der Aufhängeschlaufen auf einer Achse liegen. Außerdem sollte der Übergang der Aufhängeschlaufe in den Messtreckenteil beiderseits in gleicher Höhe erfolgen. Bestehen hier Unterschiede, so wird eine Seite mehr belastet. Stäbe mit solchen Ungleichmässigkeiten zeigten bei den Vorversuchen eine guterkennbare Krümmung ihrer Messtrecke während des Streckvorganges. Mit Hilfe der in Abb. 5 gezeigten Vorrichtung konnte bei der Herstellung der Probenmodelle für eine ausreichende Symmetrie gesorgt werden.

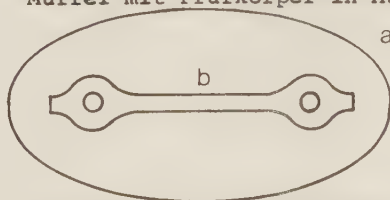
Der hier benutzte Flachstab entspricht nicht den Forderungen der DIN 50125 (Seitenverhältnis bei Proportionalstäben mit rechteckigem Querschnitt) und DIN 50148 und 50149 (Größe der Probe). Er ist aber unter geringem Aufwand an Werkzeugen herstellbar. Ausserdem wiegt er in Degular M ganze 4,5 g.

Mit Hilfe eines Schraubstockes wurden Muffeln mit einem Durchmesser von 5,4 cm und einer Höhe von 5,5 cm gepresst, bis sie die in Abb. 6 a gezeigte Form hatten. Für diese Muffeln mußte ein besonderer Sockler gebaut werden, der das Anschnittsystem trägt (Abb. 6B).

Der Sockler besteht aus Silone, einer Silikon - Abdruckmasse. Seine Form wurde in einer Küvette gepreßt, die der Prothesenherstellung dient. Der in den Sockler eingeführte Eisendraht dient einmal der Stabilisierung der Form. Es soll die starken Schwingungen dämpfen, die beim Eingießen der Einbettmasse auf dem Rüttler erforderlich sind und somit ein Abreißen des Prüfkörpermodells vom Sockler verhindern. Weiterhin stellt er die Verbindung zwischen Prüfkörpermodell und Sockler her, denn es besteht keine Klebekraft zwischen den Materialien Gußwachs und Silone.

Bei dem hier angewandten und in Abb. 6 c gezeigten Verfahren handelt es sich um einen Guß mit Steiger. Durch die Zentrifugalkraft wird die flüssige Legierung aus der Schmelzmulde (bzw. Kohletiegel) in die Eingußöffnung der Muffel geschleudert, füllt die Form aus und tritt zum Teil in den Steigerraum über.

Abb. 6 A) : Muffel mit Prüfkörper in Aufsicht



Aufsicht auf stehende Muffel

a = Muffel, b = Prüfkörper

Abb. 6 B :
Seitenansicht von
Sockler, Muffel
und Prüfkörper

- a = Muffel
- b = Prüfkörper
- c = Gußwachs
- d = Sockler (Silone)
- e = Eisendraht

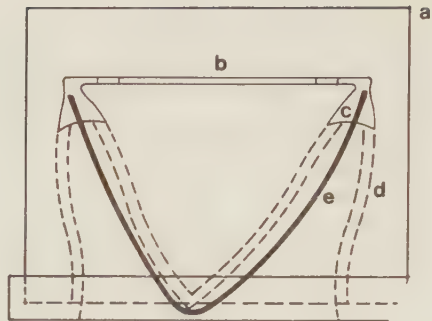
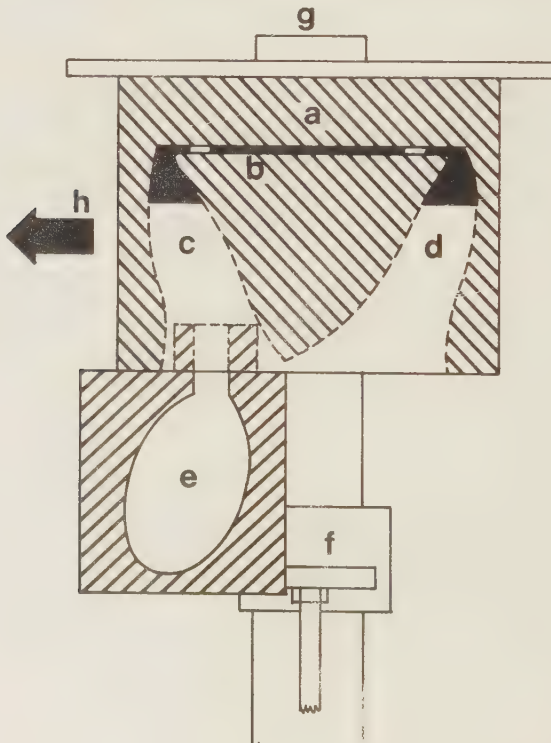


Abb. 6 C : Aufsicht auf einen Teil der Schleuder
Umbau - neue Lagebeziehung von Muffel und Tiegel



a = Muffel, b = gegossener Prüfkörper, c = Eingußkanal,
d = Steigerraum, e = Schmelzmulde, f = Schmelzmulde,
f = Schlitten, g = Schleuderrücken, h = Schleuderrichtung

Abb.6D: gestreckter Schleuderarm

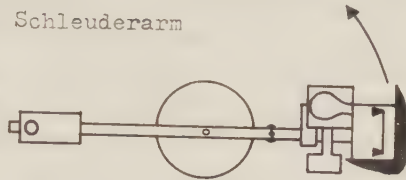
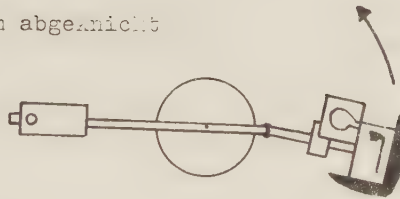


Abb.6E: Schleuderarm abgeknickt



Damit die Form ausfließt und die im Eingußkanal und Steigerraum verbleibenden Kegel ungefähr gleiche Volumina aufweisen, ist ein kleiner Umbau der hier benutzten Horizontalschleuder von Degussa notwendig. Das Oberteil des Schlittens, das eine Vorrichtung zur Aufnahme einer Schamotte - Schmelzmulde oder eines elektrischen Schmelzofens besitzt, ist - wie Abb. 6 C, 6 D und 6 E zeigen - in Drehrichtung seitlich versetzt, so dass Schmelzmulde und Kohletiegel gegenüber der Eingußöffnung der Muffel liegen. Ein Gegengewicht auf der anderen Seite des kleinen beweglichen Schleuderarms sorgt dafür, dass beide Arme nach Entfaltung der Schleuder eine Gerade bilden (Abb. 6 D). Fehlt das Gegengewicht, so bleibt der kleine Schleuderarm abgeknickt (Abb. 6 E). In diesem Fall wirkt die Fliehkraft nicht mehr senkrecht zur Achse des Prüfkörpers. Folglich erhält der in Drehrichtung liegende Kegel zu viel und der andere kein oder zu wenig Material. Bei stärkerer Abknickung des kleinen

Schleuderarmes fließt das Gold sogar nur bis zu einem Punkt der Messtrecke, wie es die Vorversuche gezeigt haben (Abb. 6E). Warum wurde nun eine annähernde Volumengleichheit für die Kegel im Eingußkanal und im Steigerraum angestrebt? Bei den Vorversuchen zeigte sich eine Abhängigkeit der Zugfestigkeitswerte von der Verteilung der Kegelvolumina. War der in Schleuderrichtung liegende Kegel sichtbar größer, so lag die Bruchstelle mit einem niedriger als erwarteten Meßwert direkt am Ende der Messtrecke beim kleinen Kegel. Außerdem war eine Rauheitszunahme auf der Messtrecke in Richtung des kleinen Kegels fühlbar und sichtbar.

Beim Versuch mit dem hier angeführten, sehr kurzen Prüfkörper die bleibende Längenänderung nach dem Bruch - auch Bruchdehnung genannt (DIN 50145 - 4.5) - zu messen zeigten die Ergebnisse eine zu große Streuung. Dagegen ließ sich die 0,2 - Grenze mit einem elektronischen Dehnungsnehmer relativ einfach bestimmen.

Die 0,2 - Grenze (SIGMA - 0,2) ist nach DIN 50144 - 1 diejenige Spannung, bei der sich im Zug- oder Druckversuch eine bleibende Dehnung oder Stauchung von 0,2 % der Messlänge ergibt. Sie wird an Stelle der Streckgrenze oder Quetschgrenze ermittelt, wenn diese sich bei der Prüfung des Werkstoffes nicht oder nicht deutlich genug ausprägt.

Für die Bestimmung der 0,2 - Grenze gelten die Bestimmungen der DIN 50125, die durch den hier verwandten zu kleinen Prüfkörper nicht erfüllt sind. Mit Hilfe des elektronischen Dehnungsnehmers und einer Zug - Prüf- Vorrichtung (2t - Mohr und Federhaff) konnte das Spannungs - Verformungs - Schaubild aufgezeichnet (DIN 50144 - 8) und direkt ausgewertet werden.

Abb. 7 : Spannungs-Verformungs-Kurve (1 Probe, 2 Gruppe, 1. Guss)

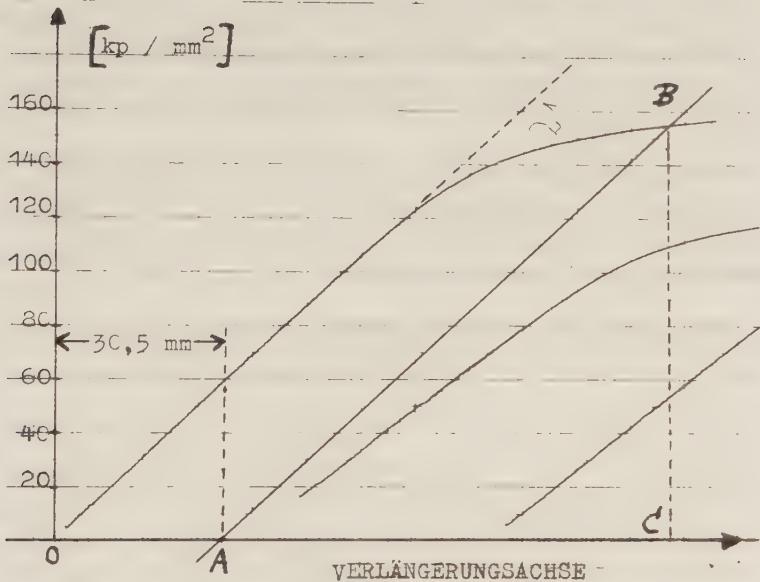


Abb. 7 zeigt die von der Vorrichtung geschriebene Spannungs - Verformungs - Kurve einer Probe (1. Probe der 2. Gruppe nach einmaligem Vergießen) im Original. Der Dehnungsnehmer wird an zwei Stellen der Messstrecke angeklemt und registriert eine Dehnung von 0,2 % der Messlänge, die einer Verlängerung im Bild von 30,5 mm entspricht (Strecke AO). Zu dem linearen Teil der Kurve wird im Abstand des Verlängerungspunktes A eine Parallele gezogen, die die Kurve im Punkt B schneidet. Vom Punkt B wird die Senkrechte auf die Verlängerungsachse gefällt, die sie im Punkt C schneidet. Die Strecke BC entspricht der 0,2 - Grenze. Auf den Maßstab von 50 mm = 100 kp bezogen ergibt sich für den oben genannten Prüfkörper der Wert SIGMA - 0,2 = 154 kp / Querschnittsfläche.

Auf Grund seines geringen Gewichtes von ca 10 g hat der Dehnungsnehmer einen nur unwesentlichen Einfluß auf das

Meßergebnis. Die schneidenartigen Klemmen des Gerätes werden mit einem so geringen Druck an dem Prüfkörper befestigt, so dass die Oberfläche der Meßstrecke unverändert bleibt. Ebenfalls zu gering ist die Kraft, mit der die Klemmen beim Meßvorgang auseinandergedrückt werden, um einen Einfluß auf das Meßergebnis zu nehmen.

Vom Materialprüfungsamt Darmstadt wurde zur Bestimmung der 0,2 - Grenze und der Zugfestigkeit eine Zug - Prüfvorrichtung (Fabrikat 2t - Mohr und Federhaff) und ein elektrischer Dehnungsnehmer zur Verfügung gestellt.

Abb. 8 : Schema der Zug - Prüfvorrichtung

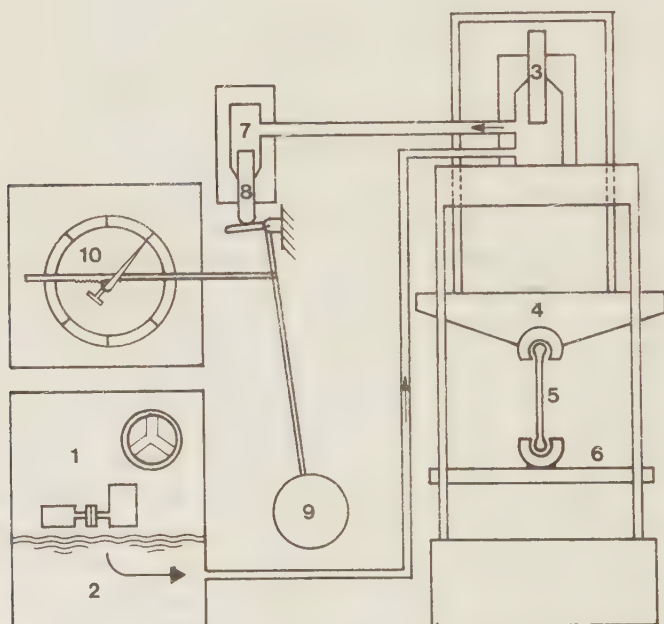


Abb. 8 zeigt die Prüfmaschine im Prinzip : Mit Hilfe einer Pumpe und eines Steuerventils 1 wird Öl aus einem Reservoir 2 unter einen Kolben 3 gedrückt. Der Kolben hebt das obere Querhaupt mit der oberen Einspannungsvorrichtung 4 . Dadurch wird die Probe 5, die in der unteren Einspannungsvorrichtung 6 fixiert ist, auseinandergezogen. Zur Messung dient ein Prüfzylinder 7, der an die Druckleitung der Anlage angeschlossen ist. Sein Kolben 8 überträgt die Kraft mit einer Zahnstange auf eine Meßuhr 10, die einen Schleppzeiger zum Ablesen der maximalen Kraft besitzt. 9 ist ein dem Öldruck entgegengesetztes Gewicht.

Die zur Bestimmung der 0,2 - Grenze und der Zugfestigkeit angesetzte Belastungszunahme betrug :

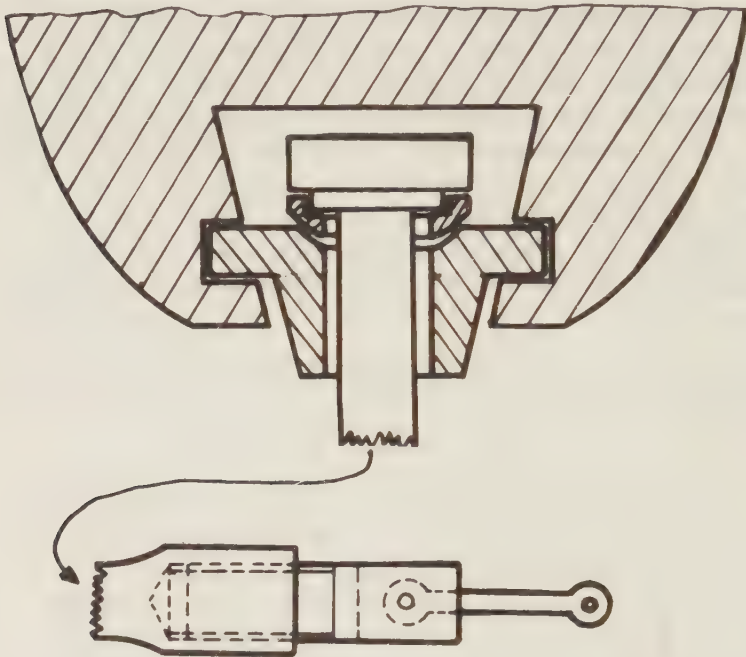
$$1 \text{ kp} / \text{mm}^2 \text{ sec}$$

Für die Aufhängung der Prüfkörper in der Zugvorrichtung ist entscheidend, daß Verkantungs- und Torsionskräfte durch entsprechende Lagerung annähernd vermieden werden können. In Originalgröße zeigt Abb. 9, dass ein Teil der Lagerung dem Ausschnitt einer Kugelfläche entspricht. Zur Befestigung wird einfach ein Rundbolzen durch die Aufhängeschlaufe der Probe geschoben. Kugel- und Bolzenlagerung sind in oberer und unterer Einspannungsvorrichtung realisiert. Die Flächen der Kugellagerung werden zur Erreichung einer besonders leichten Gängigkeit mit Graphitpulver eingerieben.

B. Herstellen der Güsse

Vor der Zusammensetzung der Proben in der im vorigen Abschnitt beschriebenen Hilfsvorrichtung wurden die Plexiglastäbchen auf Kantengenauigkeit, Kantenparallelität und rechteckigen Querschnitt hin überprüft und aussortiert. Diese Maßnahme war erforderlich, weil bei Besichtigung der gelie-

Abb. 9 : Aufhängung der Proben in der Zugvorrichtung



ferten Stäbchen unterschiedliche Stärken und Verjüngung der Querschnitte über die Messtrecke auffielen. Infolgedessen mußte jeder Prüfkörper nach dem Guß zur Bestimmung des Querschnitts ausgemessen werden. Ferner wurden Stäbchen mit Sprüngen und Rauigkeiten auf den gefrästen Flächen verworfen.

Vor dem Aufkleben der Probenmodelle auf die Socklerspitzen wurden die Enden der Wachsschlaufen leicht nach unten gebogen. Der Raum zwischen diesen Enden und der Silikonmasse des Socklers wurde entlang den freien Eisendrahtstücken ausmodelliert. Dabei war auf Formgleichheit der ausmodellierten Zonen und auf Parallelität der Messtrecke zum Socklerboden

zu achten (Abb. 6 B). Die Modelle wurden dann mit "Kerr-Debubblizzer" entfettet. Mit dieser Flüssigkeit konnten die Materialien Wachs und Plexiglas gleichermaßen benetzt werden.

Die Muffeln wurden mit nassen Asbestpapier ausgelegt und auf den Socklerboden gesteckt. Das Ansetzen der Einbettmasse "Durotherm" erfolgte im Verhältnis von 29 g Durotherm zu 10 ml Wasser. Durch Anrühren unter Vakuum war die Masse relativ blasenfrei. Jeweils 5 Muffeln wurden mit derselben vorbereiteten Masse auf einem Rüttelgerät gefüllt (gemäß der Anzahl von 5 Proben in einer Gruppe - siehe Seite 31).

Obwohl vom Hersteller eine Abbindezeit von 15 min angegeben ist, bewährte es sich, dass die Muffeln erst nach 45 min in den Ausbrühofen gegeben wurden. Zuvor wurden die Muffeln auf der freien Rückenfläche markiert. Im elektrischen Ofen erfolgte das Vorwärmen und Ausbrühen des Wachses über 45 min bei 250°C. Wegen der gleichmäßigen Durchwärmung fiel die Wahl auf dieses Gerät. In einem anderen elektrischen Ofen wurden die Muffeln dann in 30 min auf 750°C erhitzt, wobei auch der Plexiglasstab vollständig verbrannte. Das Schmelzen der Legierung vollzog sich auf der gespannten Schleuder mit Hilfe einer Gasflamme bzw. eines kleinen elektrischen Schmelzofens. Vom Zeitpunkt der Verflüssigung an wurde die Schmelze maximal 10 sec. überhitzt. In diesem Zeitraum konnten die Muffeln auf den Schleuderteller gelegt und die Tiegel herangeschoben werden. Der Schleudervorgang dauerte bis zum Stillstand der Schleuder. Anschließend kühlten die Muffeln bis auf Raumtemperatur ab.

Das Einschmelzen im Schamottetiegel geschah unter einer Luft - Gasflamme mit Natriumtetraborat, einem Flussmittel vom lösenden Typ. Es ermöglicht das Herauslösen der Oxyde, die die unedlen Metalle mit Sauerstoff bilden. Bei Anwendung der

Flamme wurden die Empfehlungen von DEGUSSA (4) weitgehend befolgt :

1. "Das Gußmittel muß in kürzester Zeit zusammengeschmolzen werden. Vor allem aber besteht bei zu langem Erhitzen die Gefahr, dass Unedelbestandteile der Legierung verbrennen. Da diese den Schmelzintervall der Legierung herabsetzen, steigert man durch das Quälen des Gußgutes sein Schmelzintervall, erschwert sich vor allem das Wiedereinschmelzen von Gußkegeln.
2. Zum Schmelzen muß die reduzierende Zone der Flamme benutzt werden (siehe Abb. 10).

Abb. 10 :

Zone der
Flamme



a = kalte Zone, b = heiße reduzierende Zone (H₂ - Überschuss),
c = oxydierende Zone (O₂ - Überschuss), d = Brennerkopf

In der reduzierenden Atmosphäre kann eine Bindung des Sauerstoffs an das glühende Schmelzgut, also eine Verbrennung nicht stattfinden. Das Gußgut bleibt während des ganzen Schmelzprozesses spiegelnd blank."

Weniger kompliziert gestaltete sich das Gießen mit der elektrischen Methode, Der kleine elektrische Ofen wurde über 30 min bei Marke "grün" angeheizt und in ihm der Kohletiegel anschließend 2 min lang bei Marke "rot" vorgewärmt. Danach erfolgte das Einbringen des Gußgutes, welches innerhalb von 3 min schmolz. Auch hier reichte die maximale Überhitzungszeit von 10 sec aus, um den Tiegel an die Muffel heranzuschieben. War bei der Gasflamme die Einhaltung eines genauen Abstandes zwischen Brenner und Gußmaterial schwierig, so entfiel

dieser Vorgang beim Kohletiegel. Im reduzierenden Milieu des Kohletiegels zeigte die Legierung immer eine spiegelnde, glatte Oberfläche.

Offenbar muß während des Schleudervorganges ein bestimmtes Kraftmaß eingehalten werden, welches die Autoren im Folgenden beschreiben.

Über die Zentrifugalapparate, zu denen auch die hier benutzte Horizontalschleuder von Degussa gezählt wird, sagt SHELL (14), dass der durch sie entwickelte Druck bis zum Erstarren der Schmelze konstant bleibe.

Nach SKINNER und PHILLIPS (15) ist der Gußdruck erst 4 bis 5 sec nach Einschießen der Schmelze konstant. POMES (12) untersucht den Einfluß der Federspannung der Schleuder auf die Oberflächenbeschaffenheit des Gusses. Erhält die Feder beim Aufziehen eine hohe Spannung, so soll die Gußoberfläche eine auffällige Rauigkeit zeigen. 2 bis 3 Aufziehdrehungen des Schleuderarmes sollen zur Erzielung eines befriedigenden Gusses genügen. POMES weist weiter daraufhin, dass auch Überhitzung zu einer Rauigkeitssteigerung der Gußstücke führt.

Dem Vorschlag die Schleuder mit 2 bis 3 Umdrehungen aufzuziehen konnte nicht entsprochen werden. Durch die schweren Muffeln und die beim Umbau erforderlich gewordenen Gewichte war die Masse der ganzen Schleuder erheblich vergrößert worden. Die zum Beschleunigen notwendige Kraft wurde durch maximales Aufziehen der Feder aufgebracht. Erst dadurch konnte sich die Schleuder in der ersten Umdrehung ruckartig und vollständig entfalten und einen ausreichenden Druck in der Muffel erzeugen, der die Form vollkommen ausfließen ließ.

Das Ausbetten der Proben vollzog sich unter fließendem Wasser durch Abreiben mit einer Bürste. Auf der großen Fläche der Aufhängeschlaufen erfolgte die Kennzeichnung der Proben durch Einritzen. Anschließend wurden die Gußkegel mit einem

großen Seitenschneider abgezwickt. Somit waren das umständliche Absägen und das Sammeln der Sägespäne umgangen. Zuletzt erfolgte das Ausmessen des Messtreckenteiles der Proben mit einer Schublehre von 1 / 50 mm Genauigkeit.

Einige Proben wurden nach Ermittlung ihrer Zugfestigkeit und ihrer 0,2 - Grenze mitsamt ihren Kegeln unter der Gasflamme erneut eingeschmolzen. Dies geschah mit dem bereits erwähnten Flußmittel. Auch hier wurde die Überhitzungszeit von 10 sec eingenhalten. Anschließend wurden die Massen in Schwefelsäure (70%), die kurz zum Kochen gebracht wurde, von ihren Schmelzrückständen befreit (Empfehlung von DEGUSSA (3)).

Alle Prüfkörper unterlagen dem Prozess des Absäuerns in dem genannten Säurebad, bevor sie erneut eingeschmolzen wurden.

C. Versuchsprogramm

Aus der auf Seite 10 genannten Aufgabenstellung geht hervor, dass 2 verschiedene Schmelzvorrichtungen zur Anwendung kommen sollen. Weiterhin ist bei einigen Güssen die Zugabe von 1 / 3 Neumetall zur gesamten Gußmenge einer Probe vorgesehen. Bei anderen wird die Gußmenge während der Versuchsdurchführung unverändert sein. Die Abmessungen des Prüfkörpers und seiner Kegel sind so gewählt, dass sich das Material zu 1 / 3 auf die Probe und zu 2 / 3 auf die beiden Kegel verteilt. Ist Neumetallzugabe erforderlich, so werden - die gesamte Gußmenge beträgt 13,5 g - an Neumetall 4,5 g hinzugegeben und ein Kegel oder der Prüfkörper aus dem Versuch genommen. Auch sollen die Arbeitgänge des zusätzlichen Einschmelzens und Absäuerns bzw. des alleinigen Absäuerns nach dem Vergießen durchgeführt werden.

Entsprechend den Kombinationsmöglichkeiten der 3 Faktoren wie Tiegel, Neumetallzugabe und Behandlung vor dem erneuten Einschmelzen ergeben sich 8 verschiedene Versuchsgruppen. Das Programm einer jeden Gruppe wird mit 5 Proben durchgeführt.

Somit können 40 Proben in einer Etappe vergossen und dem Zugversuch zugeführt werden.

Die Einteilung des Versuchsprogrammes ist folgendermaßen vorgesehen:

1. Gruppe : 1/3 Neumetallzugabe, Schmelzmulde,
Absäuern vor nächsten Guß
2. Gruppe : Keine Neumetallzugabe, Schmelzmulde,
Absäuern vor nächstem Guß
3. Gruppe : 1/3 Neumetallzugabe, Schmelzmulde,
Einschmelzen und Absäuern vor nächstem Guß
4. Gruppe : Keine Neumetallzugabe, Schmelzmulde,
Einschmelzen und Absäuern vor nächstem Guß
5. Gruppe : 1/3 Neumetallzugabe, Kohletiegel,
Absäuern vor nächstem Guß
6. Gruppe : Keine Neumetallzugabe, Kohletiegel,
Absäuern vor nächstem Guß
7. Gruppe : 1/3 Neumetallzugabe, Kohletiegel,
Einschmelzen und Absäuern vor nächstem Guß
8. Gruppe : Keine Neumetallzugabe, Kohletiegel,
Einschmelzen und Absäuern vor nächstem Guß

D. Ergebnisse :

1. Statistische Auswertung

Zunächst wurden für die 5 Proben einer Gruppe nach jedem Guß Mittelwerte bestimmt. Somit konnten Mittelwertskurven, die die Änderung der 0,2 - Grenze und der Zugfestigkeit nach zehnmaligem Vergießen wiedergeben, aufgezeichnet werden (siehe Abb. 12 bis 19, S. 56 bis 60).

Bei Betrachtung der Kurven fiel folgendes auf :

1. Der Gipfel aller Kurven liegt beim 3. Guß
2. Zwischen den Güssen Nr. 1 bis Nr. 3 und Nr. 4 bis Nr. 10 zeigen die Kurven Abschnitte, die annähernd einer Geraden entsprechen.

Mit Hilfe des Verfahrens der einfachen linearen Regression wurden an die genannten Abschnitte der Kurven Geraden der Form $y = a + bx$ angepasst (y = Kraftwert in kp/mm^2 , abzulesen auf der Ordinate; a = Achsenabschnitt auf der Ordinate für die Gußzahl 0; b = Steigungsmaß der Geraden; x = Gußzahl, abzulesen auf der Abszisse).

Aus Tabelle 1 sind die a - und b - Werte für alle Gruppen zur Bildung der Geradengleichungen zu entnehmen.

Die in der 1. bis 4. Spalte aufgeführten Bezeichnungen bedeuten :

G = Gruppe

R : 1 = absäuern vor dem nächsten Guß

2 = absäuern und einsmelzen vor dem nächsten Guß

N : 1 = keine Neumetallzugabe

2 = Neumetallzugabe

T : 1 = Schmelzmulde

2 = Kohletiegel

Tab. 1 :

SIGMA - B

a- und b-
Werte
aller
Gruppen

G	R N T	a ₁ - 3	a ₄ - 10	b ₁ - 3	b ₄ - 10
1	1 2 1	63,1	81,3	4,59	-1,55
2	1 1 1	62,9	82,7	3,56	-2,53
3	2 2 1	62,5	80,0	4,65	-1,66
4	2 1 1	63,0	80,0	4,26	-2,30
5	1 2 2	62,6	74,2	4,60	-0,52
6	1 1 2	61,8	82,4	5,03	-2,00
7	2 2 2	63,0	75,8	3,58	-1,11
8	2 1 2	64,6	75,1	3,71	-1,26

SIGMA - 0,2

G	R N T	a ₁ - 3	a ₄ - 10	b ₁ - 3	b ₄ - 10
1	1 2 1	47,7	60,2	3,38	-1,11
2	1 1 1	46,0	62,2	4,02	-1,09
3	2 2 1	47,3	59,6	3,19	-1,45
4	2 1 1	45,5	50,9	4,49	-1,61
5	1 2 2	48,6	60,1	5,03	-0,75
6	1 1 2	48,3	66,4	4,13	-2,03
7	2 2 2	51,2	58,3	1,01	-1,05
8	2 1 2	47,6	58,7	2,99	-1,32

Die Indices bei a und b bezeichnen die Gussnummern. Beispielsweise gelten für die Regressionsgeraden, die an die 0,2 - Werte der 1. Gruppe (absäuern vor dem nächsten Guß/Neumetallzugabe/Schmelzmulde) angepaßt sind, folgende Beziehungen :

$$y_1 - 3 = 47,7 + 3,38 \quad \text{und} \quad y_4 - 10 = 60,2 - 1,11x$$

Es war das Ziel der statistischen Auswertung die Mittelwerte von a und b im Zusammenhang mit den gefundenen Streuungen zu untersuchen und auf dem Wege statistischer Hypothesen zu Sachaussagen zu kommen. Zunächst wurden diese Werte einer mehrfachen Varianzanalyse unterzogen. Daran schloß sich die Berech-

nung von Konfidenzintervallen für die benötigten Mittelwertkontraste nach dem TUKEY - Verfahren an. Einzelheiten der benutzten statistischen Verfahren sind aus der Fachliteratur zu entnehmen (18).

Hier sollen nur einige Anmerkungen gemacht werden, die das Verständnis der Ergebnistabellen erleichtern. Die Varianzanalyse eliminiert aus der Gesamtstreuung der Messergebnisse die Streuung einzelner Einflußgrößen (Faktoren), sowie deren gegenseitige Beeinflussung (Wechselwirkung) und beurteilt diese unabhängig voneinander.

In der ersten Spalte der Varianzanalysentabellen werden diese Faktoren und Wechselwirkungen aufgeführt. Die zweite Spalte (Summe der Abweichungsquadrate - SAQ) enthält die entsprechenden Anteile an der Gesamtstreuung. Die Division der SAQ durch die sogenannten Freiheitsgrade (FG, 3. Spalte) führt zu den mittleren Abweichungsquadraten (MAQ, Spalte 4), die das eigentliche Streumaß darstellen. Im F - Test (Spalten 5 und 6) wird geprüft, ob dieser Streuungsanteil wesentlich größer ist als nach der Versuchsstreuung zu erwarten. Die Beurteilung der berechneten F - Werte erfolgt nach Festsetzung einer geeigneten Irrtumswahrscheinlichkeit p durch Vergleich mit den tabulierten Werten der F - Verteilung. Ist der berechnete Wert größer als der Tabellen - F - Wert für $p = 0,01$, so spricht man von einem signifikanten Ergebnis. Die Annahme, dass zwischen den einzelnen Stufen eines Faktors oder einer Wechselwirkung keine wesentlichen Unterschiede bestehen (sg. Nullhypothese), kann dann nicht aufrecht erhalten werden. Wird jedoch nur der kleinere Tabellenwert für $p = 0,05$ überschritten, so spricht man von einem statistisch auffälligen Ergebnis.

Hat der F - Test ergeben, dass zwischen bestimmten Mittelwerten (den Stufen eines Faktors oder einer Wechselwirkung) signifikante Unterschiede bestehen, so gilt die Aussage zusammenfassend für alle diese Mittelwerte. Es kann nicht ohne weiteres gefolgert werden, dass zwei bestimmte Mittelwerte sich unterscheiden. Sollen bestimmte Mittelwertsdifferenzen oder auch

komplizierte Mittelwertskontrasten beurteilt werden, so kann dies mit Hilfe von Konfidenzintervallen geschehen.

Die hier benutzten von TUKEY angegebenen Konfidenzintervalle haben die Form :

$$\widehat{L} - \sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} q_{1-p/k/f} \leq L \leq \widehat{L} + \sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} q_{1-p/k/f}$$

$\widehat{L}$ = der zu beurteilende Mittelwertskontrast der Stichprobe

L = der entsprechende Kontrast der Grundgesamtheit

MAQ_N

----- = Varianz des Kontrastes

T

MAQ_N ist das aus der Varianzanalysetabelle entnommene MAQ für den Nenner im F - Test

r ist die Anzahl der jedem Mittelwert zugrunde liegenden Einzelmessungen

$q_{1-p/k/f}$ = obere Signifikanzschranke des studentisierten Extrembereiches

$1-p$ ist die Sicherheitswahrscheinlichkeit

k ist die Anzahl der Mittelwerte

f ist die Anzahl der Freiheitsgrade von MAQ_N

Eine Mittelwertsdifferenz $\widehat{L}$ ist dann signifikant von 0 verschieden, wenn sie größer ist als der Ausdruck

$$\sqrt{\frac{MAQ_N}{r}} q_{1-p/k/f}$$

Es folgen Varianzanalysetabellen für die verschiedenen Gußverfahren von Degulor M

Varianzanalysentabellen für die verschiedenen Gußverfahren von Degulor M

Tab. 2 :

Varianzanalysentabelle SIGMA - 1,2

a₁ - 3

Beurteilung:

auffällig (p=0,05) = +
signif. (p=0,01) = ++

Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	LAQ	F-Wert	
1.Behandlung vor dem Guß	0,0170	1	0,017	-	
2.Neumetallzugabe	54,4783	1	4,4783	5,00	+
3.Tiegel	79,0222	1	79,0222	7,60	++
4.Neumet./Behandl.v.G.	17,9359	1	17,9359	1,74	
5.Behandl.v.G./Tiegel	14,7593	1	14,7593	1,43	
6.Neumet./Tiegel	1,3783	1	1,3783	-	
7.Neumet./Behandl./Tiegel	1,0014	1	1,0014	-	
8.Rest	330,1579	32	10,3174	-	

Tab. 3 :

Varianzanalysentabelle SIGMA - 0,2

b₁ - 3

Beurteilung:

auffällig (p=0,05) = +
signif. (p=0,01) = ++

Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	LAQ	F-Wert	
1.Behandlung vor dem Guß	10,3529	1	10,3529	5,21	+
2.Neumetallzugabe	3,0873	1	3,0873	1,55	
3.Tiegel	0,7912	1	0,7912	-	
4.Neumet./Behandl.v.G.	4,7049	1	4,7049	2,37	
5.Behandl.v.G./Tiegel	13,4180	1	13,4180	6,75	+
6.Neumet./Tiegel	1,7227	1	1,7227	-	
7.Neumet./Behandl./Tiegel	1,2510	1	1,2510	-	
8.Rest	63,5894	32	1,8971	-	

Tab. 4 :

Varianzanalysentabelle SIGMA - C,2

$b_4 - 10$

Beurteilung:

auffällig ($p=0,05$) = +
signif. ($p=0,01$) = ++

Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-Wert	
1.Behandlung vor dem Guß	113,1797	1	113,1797	14,30	++
2.Neumetallzugabe	40,9192	1	40,9192	5,20	+
3.Tiegel	4,2644	1	4,2644	-	
4.Neumet./Behandl.v.G.	48,7782	1	48,7782	6,20	+
5.Behandl.v.G./Tiegel	19,4256	1	19,4256	2,47	
6.Neumet./Tiegel	18,6183	1	18,6183	2,36	
7.Neumet./Behandl./Tiegel	6,1503	1	6,1503	-	
8.Rest	251,9271	32	7,8727	-	

Tab. 5 :

Varianzanalysentabelle SIGMA - C,2

$b_4 - 10$

Beurteilung:

auffällig ($p=0,05$) = +
signif. ($p=0,01$) = ++

Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-Wert	
1.Behandlung vor dem Guß	0,0855	1	0,0855	-	
2.Neumetallzugabe	3,8958	1	3,8958	29,12	++
3.Tiegel	0,5245	1	0,5245	3,92	
4.Neumet./Behandl.v.G.	1,6550	1	1,6550	12,37	++
5.Behandl.v.G./Tiegel	0,1381	1	0,1381	-	
6.Neumet./Tiegel	0,2201	1	0,2201	1,64	
7.Neumet./Behandl./Tiegel	0,0905	1	0,0905	-	
8.Rest	4,2820	32	0,1338	-	

Tab. 6 :

Varianzanalysentabelle SIGMA - B

$a_1 - 3$

Beurteilung:

auffällig ($p=0,05$) = +
signif. ($p=0,01$) = ++

Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-Wert
1.Behandlung vor dem Guß	3,9152	1	3,9152	-
2.Neumetallzugabe	0,9685	1	0,9685	-
3.Tiegel	0,4129	1	0,4129	-
4.Neumet./Behandl.v.G.	7,2340	1	7,2340	-
5.Behandl.v.G./Tiegel	9,9380	1	9,9380	-
6.Neumet./Tiegel	0,0375	1	0,0375	-
7.Neumet./Behandl./Tiegel	1,2594	1	1,2594	-
8.Rest	457,9161	32	14,3098	-

Tab. 7 :

Varianzanalysentabelle SIGMA - B

$b_1 - 3$

Beurteilung:

auffällig ($p=0,05$) = +
signif. ($p=0,01$) = ++

Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-Wert
1.Behandlung vor dem Guß	4,4802	1	4,4802	1,63
2.Neumetallzugabe	0,0355	1	0,0355	-
3.Tiegel	0,9701	1	0,9701	-
4.Neumet./Behandl.v.G.	0,8420	1	0,8420	-
5.Behandl.v.G./Tiegel	1,5829	1	1,5829	-
6.Neumet./Tiegel	0,1523	1	0,1523	-
7.Neumet./Behandl./Tiegel	0,0162	1	0,0162	-
8.Rest	87,8555	32	2,7454	-

Tab. 8 :

Varianzanalysentabelle SIGMA - B

a₄ - 10

Beurteilung:

auffällig (p=0,05) = +

signif. (p=0,01) = ++

Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-wert	
1.Behandlung vor dem Guß	87,5618	1	87,5618	7,06	+
2.Neumetallzugabe	75,4296	1	75,4296	6,08	+
3.Tiegel	128,9459	1	128,9459	10,40	++
4.Neumet./Behandl.v.G.	42,4939	1	42,4939	3,43	
5.Behandl.v.G./Tiegel	0,1081	1	0,1081	-	
6.Neumet./Tiegel	10,9913	1	10,9913	-	
7.Neumet./Behandl./Tiegel	55,9698	1	55,9698	4,51	+
8.Rest	396,9170	32	12,4036		

Tab. 9 :

varianzanalysentabelle SIGMA - B

b₄ - 10

Beurteilung:

auffällig (p=0,05) = +

signif. (p=0,01) = ++

Faktoren und Wechselwirkungen	SAQ	FG	MAQ	F-wert	
1.Behandlung vor dem Guß	0,0144	1	0,0144	-	
2.Neumetallzugabe	6,1552	1	6,1552	25,15	++
3.Tiegel	5,8367	1	5,8367	23,85	++
4.Neumet./Behandl.v.G.	1,5301	1	1,5301	6,25	+
5.Behandl.v.G./Tiegel	0,0103	1	0,0103	-	
6.Neumetall/Tiegel	0,0069	1	0,0069	-	
7.Neumet./Behandl./Tiegel	0,7523	1	0,7523	3,07	
8.Rest	7,8306	32	0,2447	-	

Aus den Varianzanalysentabellen ist zu ersehen, dass die Wirkung einiger bei den Versuchen variierteter Einflußgrößen gesichert ist. Von Bedeutung erscheint die Einflußnahme der Faktoren und Wechselwirkungen auf das Steigungsmaß b der Regressionsgeraden, die an die Güsse im Bereich von Nr. 4 bis Nr. 10 angepaßt sind. Dies soll hier genauer beschrieben werden.

Für die Zugfestigkeit SIGMA - B bringt die Verwendung verschiedener Tiegel und das Verfahren der Neumetallzugabe signifikante Unterschiede (s. Abb. 21 u. Abb. 22, Seite 61; Werte für die aufgezeichneten Regressionsgeraden sind der Tab. 10 zu entnehmen).

Tab. 10 :

SIGMA - 0,2

		$a_1 - \bar{y}$	$a_4 - 10$	$b_1 - \bar{y}$	$b_4 - 10$
R	1	47,7	62,2	4,14	-1,45
	2	48,4	58,2	3,12	-1,6
N	1	46,4	61,6	3,91	-1,12
	2	46,7	59,5	3,35	-1,19
T	1	46,1	60,2	3,78	-1,1
	2	49,0	60,6	3,49	-1,28

SIGMA - B

		$a_1 - \bar{y}$	$a_4 - 10$	$b_1 - \bar{y}$	$b_4 - 10$
A	1	60,6	60,2	4,77	-1,6
	2	63,2	57,2	4,16	-1,32
B	1	60,6	60,0	4,60	-2,00
	2	61,1	57,2	4,46	-1,71
C	1	62,0	60,5	4,51	-1,59
	2	63,6	56,9	4,28	-1,26

Bei SIGMA - 0,2 ergibt sich ein gesicherter Einfluß durch das Verfahren der Neumetallzugabe und durch die Wechselwirkung Neumetallzugabe / Behandlung vor dem Vergießen (N / R). Zur Untersuchung dieser Wechselwirkung wurden

Mittelwertsdifferenzen aufgestellt. Dazu erfolgte zunächst die Ordnung der Mittelwerte nach Größe (siehe Tab. 11).

Tab. 11 :

	RN	$b_4 - 10$
Ordnung der Mittelwerte	12	-0,93
nach Größe	22	-1,25
	21	-1,46
	11	-1,96

Sodann wurden alle möglichen Mittelwertsdifferenzen in einer Vergleichsmatrix angeordnet. Das hat den Vorteil, dass die Mittelwertsdifferenzen nach Größe geordnet und mit positiven Vorzeichen erscheinen. Man kann nach Durchführung des TUKEY - Tests (es ergab sich dabei ein kritischer Wert von 0,55) leicht signifikante von Zufalldifferenzen trennen. Die signifikanten Differenzen sind in Tabelle 12 stärker umrandet.

Tab. 12 : Vergleichsmatrix

	11	RN	RN
11	22	21	11
12	0,32	0,53	1,03
22		0,21	0,71
21			0,50

Das Verfahren "absäuern vor dem nächsten Guß/ keine Neumetallzugabe" (R1 /N1) weist signifikante Unterschiede zu den Verfahren "absäuern vor dem nächsten Guß / Neumetallzugabe " (R1 / N2) und "absäuern und einschmelzen vor dem nächsten Guß / Neumetallzugabe " (R2 / N2) auf. Abb. 23, Seite 62 zeigt die dazugehörigen Regressionsgeraden, deren Werte aus Tabelle 13 entnommen sind

Tab. 13 :

		SIGMA -0,2			
Werte der Regressionsgeraden von Abb. 23, Seite 62	RN	$a_1 - 3$	$a_4 - 1$	$b_1 - 3$	$b_4 - 10$
	11	47,1	30,5	-1,08	-1,10
	12	40,1	60,1	4,2	-0,93
	22	49,2	51,8	2,5	-1,24

Eine Beeinflussung der Größe a im Bereich der Güsse Nr. 4 bis Nr. 10 ist ebenfalls feststellbar. Hier ergeben sich signifikante Unterschiede für SIGMA - 0,2 bei Anwendung der Behandlungsmethoden vor dem Guß und für SIGMA - B bei Benutzung der Tiegel. Dies besagt, dass die entsprechenden Regressionsgeraden die Ordinate in signifikant unterschiedlichen Bereichen schneiden. Da es bei der vorliegenden Untersuchung auf Veränderungen der Zugfestigkeit und der 0,2 - Grenze ankam, wurden die Unterschiede zwischen den Achsenabschnitten nicht weiter beachtet.

Zwischen den Güssen Nr. 1 bis Nr. 3 weist die Varianzanalysetabelle keine signifikanten Unterschiede für die Größe a und b auf. Deshalb sind

1. die Schnittpunkte aller Regressionsgeraden mit der Ordinaten, die die Güsse Nr. 1 bis Nr. 3 erfassen und
 2. die Steigungsmaße dieser Regressionsgeraden
- nicht signifikant unterschiedlich.

2. Beschreibung und Erörterung der Ergebnisse

Der Hersteller gibt für die Legierung Degulor M folgende Festigkeitswerte an, die an gewalzten, anschließend gegläutem und evetuell ausgehärtetem Material ermittelt sind:

Zerreißfestigkeit (SIGMA - B) = 59 Kp/mm²

(Zustand "weich")

Zerreißfestigkeit (SIGMA - B) = 80 Kp/mm²

(Zustand "ausgehärtet")

Die in dieser Arbeit gemessenen SIGMA - B Werte aller Proben liegen nach einmaligem Vergießen, dem ein langsames Abkühlen bis auf Zimmertemperatur folgte, im Durchschnitt bei 68 Kp/mm², also etwa in der Mitte zwischen den oben angeführten Werten.

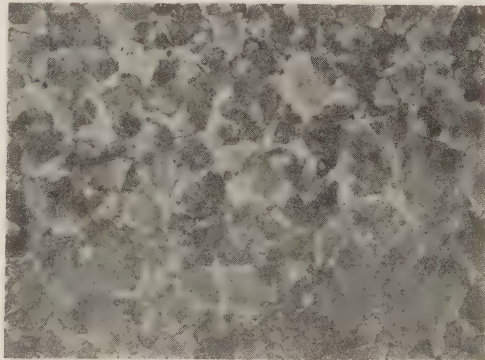
KÜHL (8) bestimmt jedoch für Degulor M, das er ebenfalls in der Gußform langsam bis auf Raumtemperatur abkühlen ließ, einen Wert von 75 Kp/mm^2 .

Auf einem Schliffbild (siehe Abb. 11) lassen sich innerhalb der Kristalle Lamellen erkennen. Es ist eine Aufspaltung des homogenen Mischkristalls in 2 verschiedene Kristalle erfolgt. Diese Struktur entspricht einer Aushärtung in Vorstufen. Somit hat das Material die Selbstvergütung nur unvollständig durchgeführt. Demnach liegen diese Proben in einem Zustand zwischen "weich und "ausgehärtet" vor.

Abb. 11 :

(Maßstab 1 : 300)

Schliffbild einer Probe von Degulor M nach einmaligem Vergießen.



Angaben über $0,2 - \text{Werte (SIGMA - } 0,2 \text{)}$ von Degulor M konnten in der Literatur nicht gefunden werden, so dass ein Vergleich nicht möglich ist. Beziehungen zwischen $\text{SIGMA - } 0,2$ und den vom Hersteller angegebenen Längenänderungswerten (in %) und Fließgrenzwerten für Degulor M bestehen auf Grund des technischen Unterschiedes nicht (siehe DIN 50145 - 3.3 und DIN 50144). Somit entfällt auch der Vergleich mit diesen Daten.

Ein Maximum mit 75 kp/mm^2 bis 80 kp/mm^2 liegt für die Mittelwerte aller Gruppen beim 3. Guß vor. Möglicherweise können Analysen der Legierungszusammensetzung nach jedem durchgeführten Guß zur Klärung dieses Verhaltens beitragen. Auffällig

ist der Verlust der Legierung an elementarem Zink bis zum 10. Guß, das als chemische Verbindung mit anderen Substanzen, z.B. mit Luftsauerstoff, das Gefüge verunreinigt und die mechanischen Eigenschaften verändert. SCHOLZ (13) und SKINNER (15) haben darauf hingewiesen.

Es muß noch hinzugefügt werden, dass in den Mittelwertskurven bei einzelnen Gruppen verschiedene kleinere Gipfel vorliegen, deren Deutung jedoch noch nicht möglich ist.

Zwischen den Güssen Nr. 4 bis Nr. 10 bringt der Effekt der Neumetallzugabe signifikante Unterschiede für die Zugfestigkeit SIGMA - B (Gefälle der Regressionsgeraden 4. bis 10. Guß und Differenz der Mittelwerte der Regressionsgeraden 4. bis 10. Guß), die in Tabelle 14 zum Ausdruck kommen.

Tab. 14 : Einfluss der Neumetallzugabe auf die Steigung der Regressionsgeraden

Gruppe	NEUMETALL		Gruppe	KEIN NEUMETALL	
	b ₄₋₁₀	Diff. 4.-10. Guß Kp/mm ²		b ₄₋₁₀	Diff. 4.-10. Guß Kp/mm ²
1	-1,55	9,5	2	-2,45	14,5
3	-1,66	9,5	4	-2,50	13,5
5	-0,52	3,2	6	-2,00	11,0
7	-1,11	6,7	8	-1,26	8,5

Die Verwendung des Kohletiegels führt zu einer geringeren Abnahme der SIGMA - B Werte und zu weniger starkem Kurvenabfall als die Verwendung der Schmelzmulde (s. Tab. 15, Seite 45).

Ohne Einfluß auf den Verlauf der Zugfestigkeit SIGMA - B bleibt die Anwendung der Behandlungsmethoden vor dem Gießen (R1 / R2). Lediglich bei den 0,2 - Werten zeigen die Gruppen, die Neumetall erhalten, deutlich Unterschiede, die

**Tab. 15 : Einfluß der Tiegel auf die Steigung
 der Regressionsgeraden**

Gruppe	KOHLETTIEGEL		Gruppe	SCHMELZTIEGEL	
	b_{4-10}	Diff. 4.-10. Guss Kp/mm ²		b_{4-10}	Diff. 4.-10. Guss Kp, mm ²
5	-0,52	3,2	1	-1,55	1,5
6	-2,00	11,0	2	-2,43	14,5
7	-1,11	6,7	3	-1,66	9,5
8	-1,26	8,5	4	-2,30	13,5

auch in Tabelle 16 durch einen Vergleich zwischen den Steigungsmaßen der abfallenden Regressionsgeraden zum Ausdruck kommen:

**Tab. 16 : Effekt der Behandlungsmethoden vor dem Guß
 (0,2-Werte) auf das Steigungsmaß bei Grp.1,3,5,7**

BEHANDLUNG VOR DEM GUSS

Gruppe	absäuern (R1)		absäuern und ein- schmelzen (R2)	
	1	5	3	7
$b_4 - 10$	-1,11	-0,75	-1,45	-1,05

Vergleicht man die Regressionsgeraden aller Gruppen zwischen den Güssen Nr. 4 bis Nr. 10 (SIGMA - B), so fallen 2 extreme Gruppen auf. Die 5. Gruppe mit den Arbeitsgängen "absäuern vor dem nächsten Guss/Neumetallzugabe/Kohletiegel" (R1/N2/T2) führt insgesamt zu den höchsten Mittelwerten ($b_{4-10} = -0,52$; Differenzen zwischen 4. und 10. Guß auf der Regressionsgeraden = $3,2 \text{ Kp/mm}^2$). Dagegen zeigt die 4. Gruppe, deren Proben nach dem Programm "absäuern und einschmelzen vor dem nächsten Guss/kein Neumetall/Schmelzmulde" (R2/N1/T1) behandelt wurden, insgesamt die niedrigsten Mittelwerte ($b_{4-10} = -2,30$; Differenz auf der Regressionsgeraden zwischen dem 4. und dem 10. Guß = $13,5 \text{ Kp/mm}^2$). An Hand der Abbildung 20 kann der Verlauf der Regressionsgeraden verglichen werden.

3. Zusammenfassung der Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurde die durch mehrmaliges Einschmelzen hervorgerufene Änderung der Zugfestigkeit und der 0,2 - Grenze von Degulor M untersucht.

Verglichen wurden 1. das Schmelzen mit Hilfe der Elektro - Schmelzanlage im Kohletiegel mit dem Schmelzen durch Gasflamme in der Schamotte - Schmelzmulde, 2. die Zugabe von 1/3 Neumetall vor jedem Guß mit dem Guß ohne Neumetallzugabe, 3. das Absäuern vor jedem Guß mit dem Absäuern und Einschmelzen mittels Schmelzpulver vor jedem Guß. Durch Kombination ergaben sich 8 verschiedene Methoden für das Vergießen von Degulor M.

Nach dem dreimaligen Vergießen erhält die Legierung ihre maximale Zugfestigkeit, die durch keinen zusätzlichen Guß wieder erreicht wird. Bis zu diesem 3. Guß treten die Einflüsse der Faktoren wie Neumetallzugabe, verschiedene Tiegel und Behandlungsmethoden vor dem Vergießen noch nicht hervor.

Wird die Legierung 10 mal vergossen, so fallen die Vorteile der Verwendung des Kohletiegels und der Zugabe von Neumetall zum Gußmaterial auf, und zwar signifikant.

Werden die Proben zwischen den Güssen abgesäuert, erhalten sie vor jedem Guß 1/3 Neumetall zur Gesamtgußmenge und erfolgt das Vergießen unter Verwendung des Kohletiegels, so zeigen die Mittelwerte der Zugfestigkeit zwischen den Güssen Nr. 1 und Nr. 10 eine Differenz von ca 1 Kp/mm^2 . Das sind die besten Werte, die erzielt wurden.

Verzichtet man auf Neumetallzugabe, schmilzt das Material vor dem Vergießen mit Schmelzpulver ein, so beträgt die Mittelwertdifferenz zwischen den Güssen Nr. 1 und Nr. 10 für die Zugfestigkeit ca. 12 Kp/mm^2 .

Im zuerst genannten Falle des geringeren Unterschiedes zwischen den Güssen Nr. 1 und Nr. 10 wäre ein weiteres Vergießen über den 10. Guß hinaus ohne wesentliche Zugfestigkeitsabnahme möglicherweise vertretbar.

Fällt die Zugfestigkeit von einem mittleren Wert von ca. 68 Kp/mm^2 (1. Guß) nach dem 10. Guß auf 56 Kp/mm^2 ab, so wird ein Wert unterschritten, der in der FDI - Spezifikation Nr. 7 für Goldgußlegierungen des Typs IV (extra hart) auf $63,5 \text{ Kp/mm}^2$ als Minimum festgesetzt ist. Ein weiteres Vergießen über den 10. Guß hinaus würde dieser Forderung nicht mehr entsprechen.

Die Unterschiede zwischen den Behandlungsmethoden, wie "absäuern und einsmelzen mit Schmelzpulver" und allein "absäuern" kommen lediglich bei den Werten der 0,2 - Grenze zum Ausdruck. Für die Zugfestigkeit erbringt das zusätzliche Einsmelzen zwischen den Güssen keine Vorteile, Somit kann auf diesen zusätzlichen Arbeitsvorgang verzichtet werden.

Soll Degulor M ohne wesentlichen Verlust an Zugfestigkeit 10 mal vergossen werden, so ist die Zugabe von mindestens $\frac{1}{3}$ Neumetall zu jedem Guß, der mit Verwendung des Kohletiegels durchgeführt wird, unbedingt zu empfehlen.

Der weitere Verlauf der Zugfestigkeit und der 0,2 - Grenze über den 10. Guß hinaus, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden.

E. Anhang :

1. Tabellen der Messwerte

Alle hier angeführten Messwerte tragen die Bezeichnung $[kp/mm^2]$.

1. Gruppe, SIGMA - 0,2

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	52,6	51,3	52,0	53,8	49,6	51,9
2	51,7	51,7	54,3	53,6	53,4	52,9
3	59,1	58,6	58,0	59,5	58,0	58,7
4	52,6	54,4	57,8	53,6	56,4	55,0
5	54,5	57,1	51,1	55,0	55,3	54,6
6	50,8	55,2	53,9	54,9	54,4	53,9
7	51,3	54,1	55,4	52,7	51,7	53,0
8	52,4	51,8	52,7	49,5	52,3	51,7
9	51,1	50,5	50,9	48,4	51,1	50,4
10	46,6	49,5	48,5	49,8	46,3	48,1

1. Gruppe, SIGMA - B

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	66,9	69,4	67,9	71,9	67,3	69,1
2	67,5	67,7	73,3	69,6	70,0	69,6
3	78,7	78,6	77,0	79,5	77,5	78,3
4	71,8	74,5	77,9	72,7	75,6	74,5
5	74,1	74,9	68,7	72,7	73,6	72,8
6	71,8	74,3	72,6	74,1	73,6	73,3
7	69,2	72,7	73,3	71,4	70,0	71,3
8	70,0	70,2	70,1	65,2	69,2	69,1
9	68,8	66,2	67,7	64,7	67,5	67,0
10	64,3	67,1	65,9	66,3	62,6	65,3

2. Gruppe, SIGMA - 0,2

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	52,2	53,6	49,1	50,5	49,3	50,9
2	52,4	53,2	52,0	52,9	51,0	52,9
3	57,4	58,5	58,4	60,6	60,0	58,9
4	55,0	52,8	55,5	53,6	53,0	54,0
5	51,7	53,0	53,9	53,7	53,0	53,1
6	52,0	50,7	53,0	49,6	47,9	50,7
7	50,0	49,7	49,1	47,2	49,2	49,2
8	50,0	48,8	47,2	48,3	48,0	48,4
9	47,2	45,8	42,2	45,9	47,2	45,7
10	42,6	42,1	43,5	42,0	39,4	41,9

2. Gruppe, SIGMA - B

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	70,5	70,8	68,5	67,6	66,3	68,8
2	71,4	72,7	69,1	70,9	68,7	70,6
3	76,7	78,5	77,0	80,7	79,5	78,5
4	74,7	71,0	74,5	72,7	71,5	72,9
5	69,4	71,7	70,5	70,3	66,6	69,7
6	70,5	68,1	71,3	66,5	66,7	68,6
7	66,2	67,8	64,5	63,4	66,2	65,6
8	65,0	66,5	63,5	65,4	65,4	65,2
9	62,4	61,9	57,2	59,8	62,9	60,9
10	57,6	59,5	58,9	56,3	54,2	57,3

3. Gruppe, SIGMA - 0,2

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	50,3	49,4	48,8	54,6	53,0	51,2
2	51,7	52,4	54,0	50,7	51,9	52,2
3	59,3	57,1	58,7	55,1	57,8	57,6
4	55,2	54,4	55,8	57,2	55,7	55,6
5	55,7	53,8	52,6	50,9	52,4	53,1
6	51,0	51,2	49,5	53,3	51,7	51,4
7	48,4	43,6	44,3	47,0	47,2	46,1
8	41,1	46,6	47,1	46,1	41,9	44,6
9	49,1	45,5	50,2	47,2	46,5	47,7
10	47,6	47,1	45,7	48,8	50,8	48,0

3. Gruppe, SIGMA - B

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	66,3	66,7	66,3	72,2	70,0	68,3
2	67,5	70,5	70,9	67,1	68,2	68,8
3	79,9	77,1	78,3	75,2	77,4	77,6
4	73,0	73,3	74,7	77,2	72,6	74,2
5	72,6	71,4	70,4	67,0	69,5	70,2
6	68,6	68,4	64,4	66,5	70,8	67,7
7	64,5	60,7	61,6	64,3	61,8	62,6
8	57,8	62,1	59,4	61,2	62,4	60,6
9	65,0	61,1	67,4	63,0	61,3	63,6
10	66,2	65,0	61,7	67,0	67,4	65,5

4. Gruppe, SIGMA - 0,2

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	49,2	48,4	50,3	49,6	47,0	48,9
2	51,7	50,9	51,2	49,0	51,5	50,9
3	58,1	57,8	60,6	57,3	55,7	57,9
4	53,0	46,1	50,8	53,5	50,8	50,9
5	53,5	48,7	52,6	51,3	48,6	50,9
6	49,5	48,4	51,7	51,0	49,6	50,0
7	50,4	52,0	45,5	48,5	48,0	48,9
8	45,7	47,2	44,7	47,8	46,1	46,3
9	44,3	46,3	44,3	45,2	44,2	44,9
10	39,7	41,2	40,7	41,5	42,4	41,1

4. Gruppe, SIGMA - B

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	68,3	67,5	70,2	70,6	64,1	68,1
2	69,6	69,6	70,4	68,4	71,0	69,8
3	78,6	78,8	75,7	75,5	74,7	76,7
4	72,2	65,6	69,1	72,7	68,2	69,6
5	71,7	66,1	70,4	69,1	65,6	68,6
6	67,1	64,9	69,2	68,5	66,0	67,1
7	65,7	69,5	60,9	65,4	63,3	64,9
8	60,5	62,1	59,2	63,9	58,8	60,9
9	56,6	63,0	58,7	60,3	58,9	59,5
10	54,5	55,8	56,0	57,8	57,1	56,2

5. Gruppe, SIGMA - 0,2

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	56,7	57,7	55,4	52,8	52,5	55,0
2	58,8	53,0	56,9	57,4	53,7	55,9
3	64,6	64,2	64,9	65,0	66,8	65,1
4	54,3	56,7	55,3	54,5	56,8	55,5
5	56,3	54,5	56,2	58,1	53,0	55,6
6	56,6	53,1	56,6	60,1	57,8	56,9
7	58,1	55,6	52,7	56,1	58,5	56,2
8	64,6	58,0	53,0	51,7	57,4	54,9
9	52,3	53,2	54,0	54,5	55,6	53,9
10	53,2	48,2	50,3	49,1	50,5	50,3

5. Gruppe, SIGMA - B

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	69,0	71,3	68,3	65,9	68,3	68,5
2	67,0	67,9	70,9	70,8	69,3	69,2
3	79,5	77,7	78,2	76,5	76,8	77,7
4	67,6	69,3	72,7	67,7	71,6	69,8
5	72,1	73,6	68,1	70,0	72,6	71,3
6	73,2	73,2	75,1	71,7	74,6	73,5
7	74,5	70,8	69,8	72,7	76,3	72,8
8	66,4	73,8	68,0	68,2	71,3	69,5
9	67,4	70,0	69,8	72,2	70,5	70,0
10	70,0	66,3	66,7	64,8	67,6	67,1

6. Gruppe, SIGMA - 0,2

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	50,8	51,5	55,3	51,7	56,0	53,0
2	58,0	52,4	57,3	53,9	55,8	59,5
3	60,0	58,6	64,3	62,9	60,4	61,3
4	61,0	55,0	61,6	59,5	56,7	58,3
5	55,3	58,0	57,5	51,4	52,4	54,9
6	53,6	55,4	58,6	53,1	56,2	55,4
7	53,3	52,2	51,4	49,2	48,8	51,0
8	55,6	51,8	48,9	53,5	51,1	52,2
9	46,1	50,6	48,2	47,0	49,1	48,2
10	47,0	43,9	46,2	45,1	44,1	45,3

6. Gruppe, SIGMA - B

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	64,2	66,3	69,9	66,5	67,0	67,4
2	72,9	68,7	71,7	67,8	72,3	70,7
3	78,8	78,1	80,4	74,8	75,2	77,5
4	76,8	72,8	77,8	73,0	72,3	74,5
5	72,7	71,4	74,0	69,2	68,1	71,0
6	74,2	72,3	73,1	67,7	73,8	72,2
7	69,3	68,5	67,1	65,7	65,4	67,2
8	67,3	68,4	65,0	69,9	63,7	66,8
9	61,7	84,7	62,4	61,6	64,7	67,0
10	62,8	56,9	60,4	60,2	62,7	60,4

7. Gruppe, SIGMA - 0,2

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	50,5	50,9	51,9	55,3	53,3	53,2
2	54,0	53,2	54,5	53,0	58,4	54,6
3	59,0	59,7	55,5	55,4	54,5	56,8
4	54,4	55,1	56,8	59,5	59,0	57,0
5	53,1	54,5	52,6	52,1	50,9	52,7
6	50,4	49,1	50,4	50,4	47,7	49,6
7	49,6	49,2	48,4	50,0	48,0	49,0
8	50,0	50,1	51,7	50,7	49,1	50,3
9	46,9	47,2	50,9	46,9	48,8	48,1
10	50,5	52,1	49,8	49,4	48,2	50,0

7. Gruppe, SIGMA - B

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	63,8	64,9	69,4	69,7	69,5	67,5
2	71,5	70,5	69,1	69,6	66,0	69,3
3	77,3	76,0	74,1	75,9	72,8	75,0
4	72,7	73,6	71,6	72,5	76,2	73,3
5	70,5	71,8	71,3	69,2	69,1	70,4
6	68,7	67,3	67,0	68,3	66,9	67,6
7	66,7	66,2	63,6	66,7	64,4	65,5
8	66,6	66,8	66,7	67,0	68,8	67,2
9	63,0	67,8	67,1	63,5	67,8	65,8
10	66,7	64,0	67,0	66,4	66,3	66,1

8. Gruppe, SIGMA - 0,2

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	49,2	52,5	52,2	51,7	48,0	50,7
2	54,8	52,5	55,7	52,6	51,6	53,4
3	56,4	58,7	55,9	57,8	54,7	56,7
4	55,1	52,1	50,6	50,5	49,6	51,6
5	53,1	52,4	53,2	52,1	47,9	51,8
6	51,4	53,0	52,5	51,8	52,2	52,2
7	54,0	50,8	50,4	49,2	50,4	51,0
8	50,1	49,4	50,6	49,1	50,6	50,0
9	46,2	43,9	45,3	47,3	47,3	46,0
10	44,9	42,5	44,7	40,3	47,0	43,9

8. Gruppe, SIGMA - B

Guss	Probe Nr.					Mittelwert
	1	2	3	4	5	
1	68,3	77,1	69,1	65,2	67,9	69,5
2	68,3	69,2	72,4	70,0	67,9	69,7
3	75,9	79,3	75,5	76,5	77,8	77,0
4	69,7	71,1	67,8	67,6	67,1	68,7
5	68,1	70,0	68,2	68,8	63,4	67,7
6	69,2	71,5	67,9	69,5	70,9	69,8
7	68,6	67,9	66,5	65,4	67,5	67,2
8	64,9	63,6	66,5	66,4	67,8	65,8
9	64,9	61,2	66,4	67,3	65,9	65,1
10	60,0	57,5	61,3	58,9	62,0	60,0

2. Graphische Darstellung :

In den folgenden Abbildungen Nr. 12 bis Nr. 19 sind die Messwerte der einzelnen Proben durch Punkte gekennzeichnet.

Mittelwerte der Gruppen werden durch ausgezogene Striche verbunden.

Die gestrichelten Linien stellen Regressionsgeraden dar.

Die Unterschiede in der Verarbeitung der Proben sind (entsprechend den Gruppen) auf Seite 31 beschrieben.

Abb. 12 : Verlauf von SIGMA - B und SIGMA - 0,2 nach mehrfachem Vergießen, 1. Gruppe

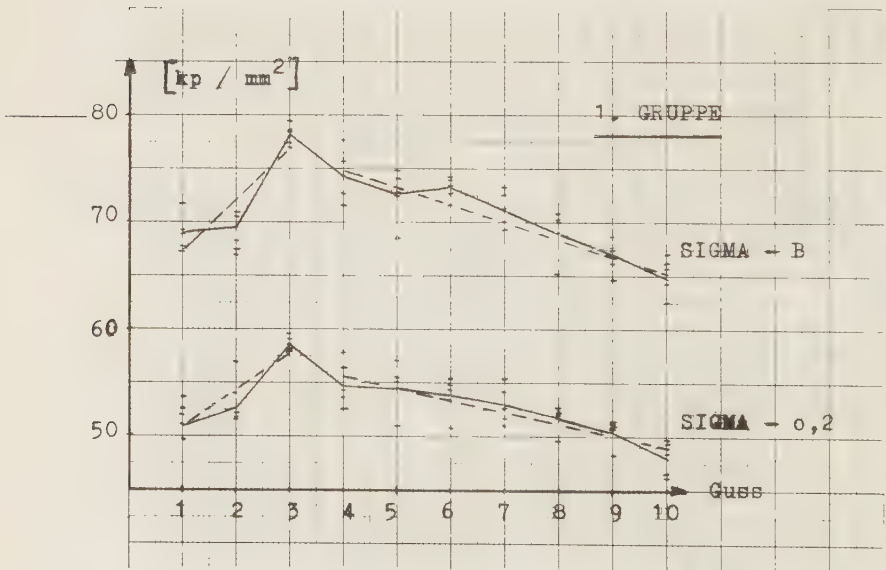


Abb. 13 : Verlauf von SIGMA-B und SIGMA-0,2 nach mehrfachem Vergießen, 2. Gruppe

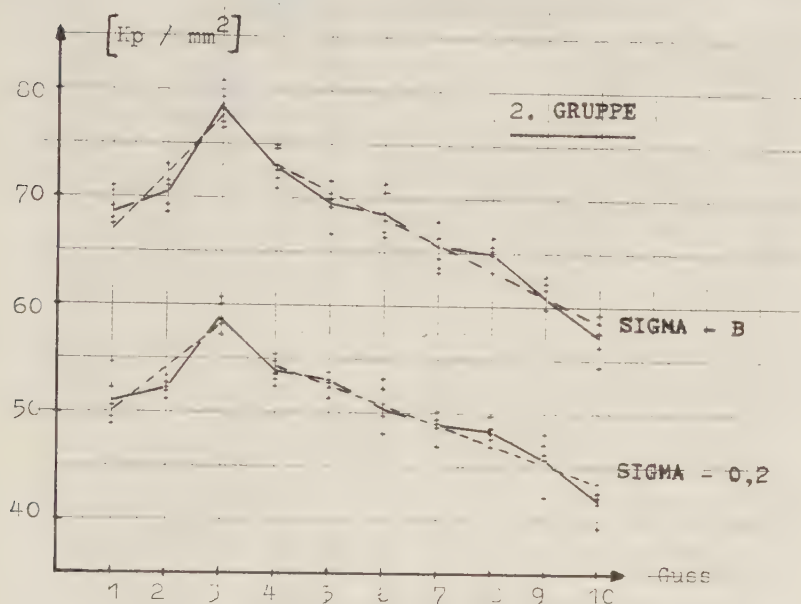


Abb. 14 : Verlauf von SIGMA-B und SIGMA 0,2 nach mehrfachem Vergießen, 3. Gruppe

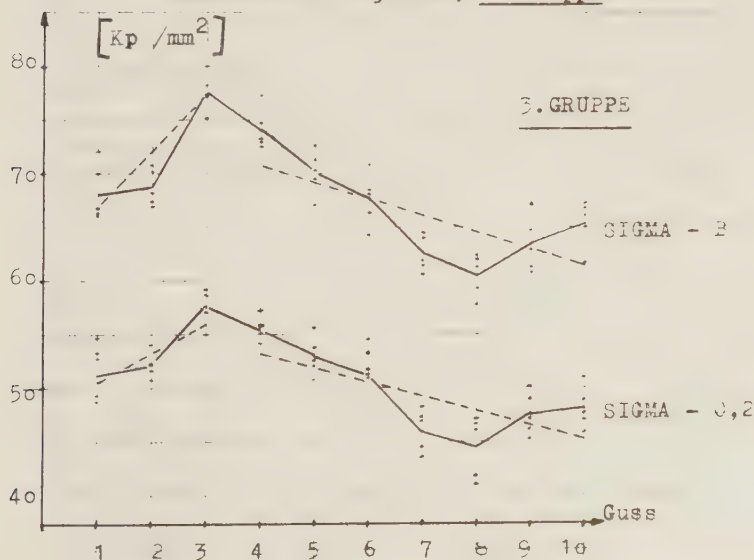


Abb. 15 : Verlauf von SIGMA-B und SIGMA-0,2 nach
mehrfachem Vergießen, 4. Gruppe

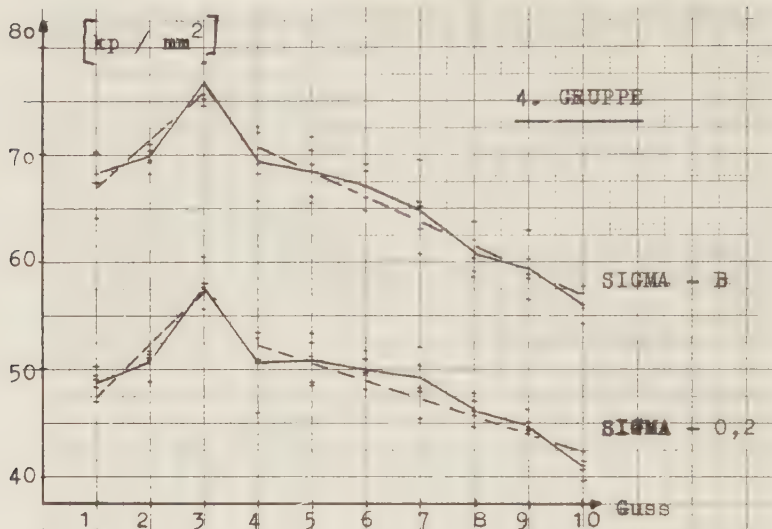


Abb. 16 : Verlauf von SIGMA-B und SIGMA-0,2 nach
mehrfachem Vergießen, 5. Gruppe

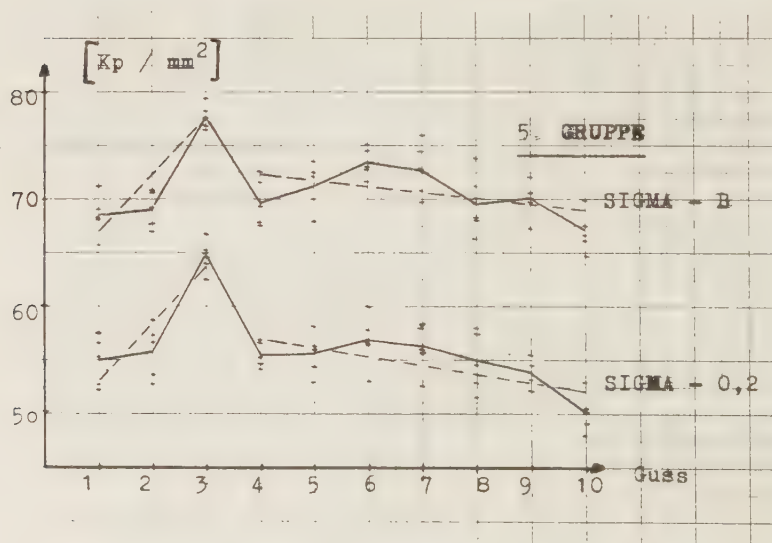


Abb. 17 : Verlauf von SIGMA-B und SIGMA-0,2 nach mehrfachem Vergießen, 6. Gruppe

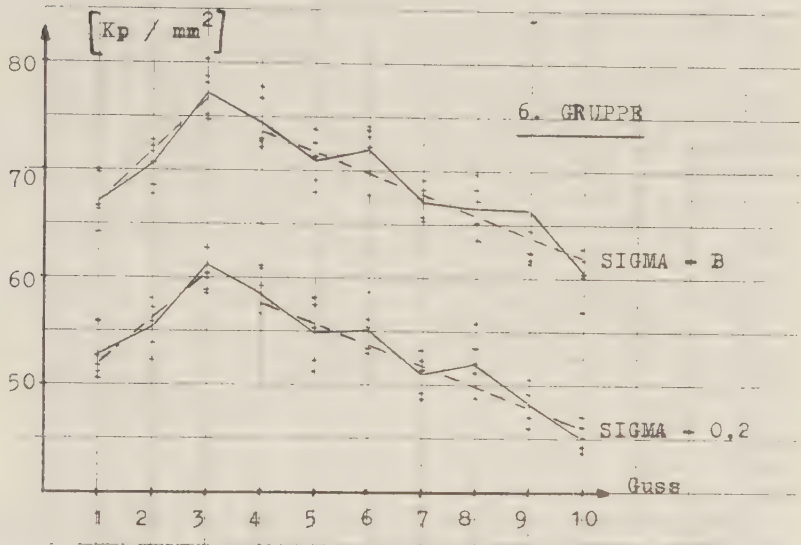


Abb. 18 : Verlauf von SIGMA-B und SIGMA-0,2 nach mehrfachem Vergießen, 7. Gruppe

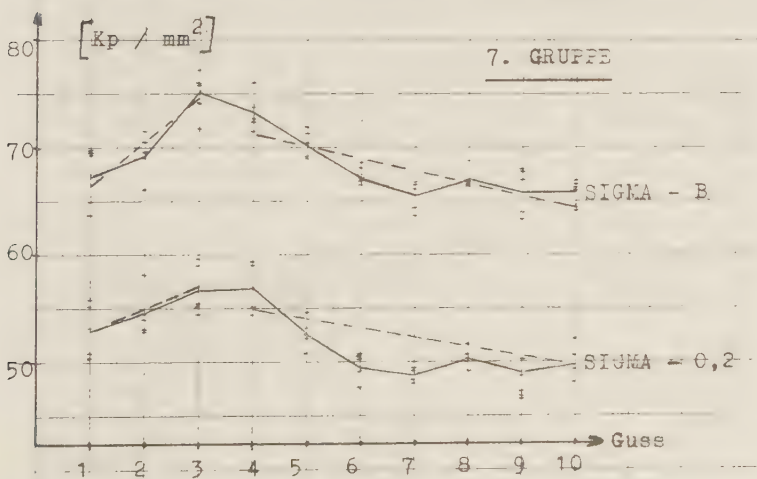


Abb. 19 : Verlauf von SIGMA-B und SIGMA-0,2 nach mehrfachem Vergießen, 8. Gruppe

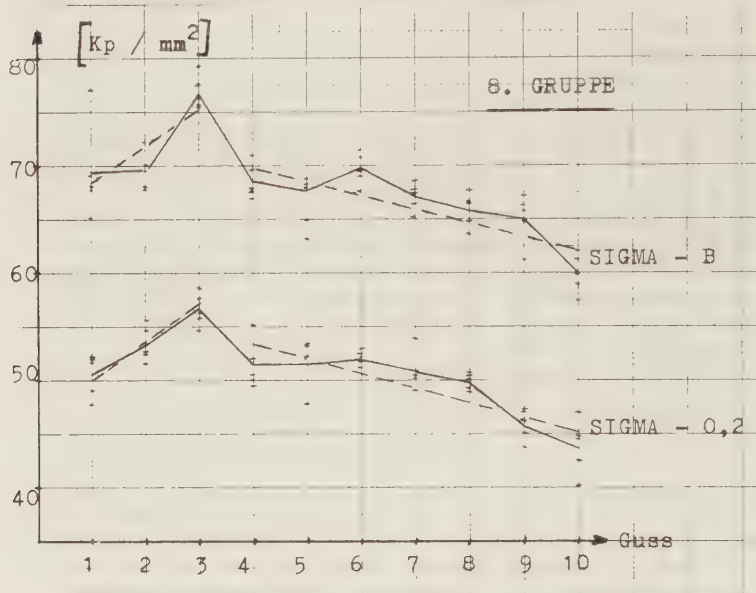


Abb. 20 : Zusammenstellung aller Regressionsgeraden der Güsse Nr. 4 bis Nr. 10 für SIGMA-B (s. auch Seite 41)

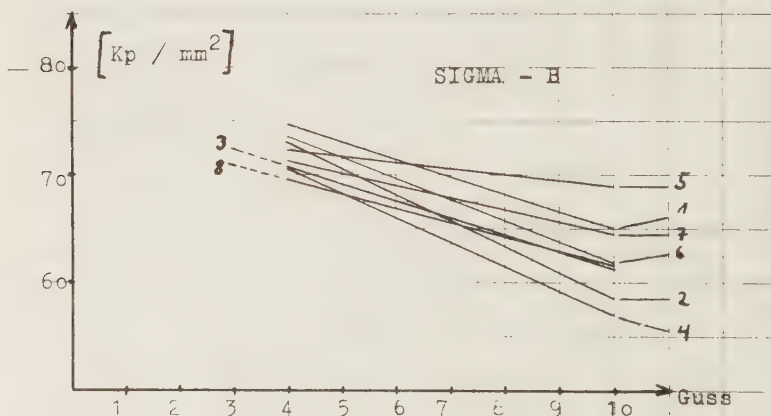


Abb. 21 : Signifikante Unterschiede bei Verwendung der Tiegel (T1 = Kohletiegel, T2 = Schmelzmulde) für SIGMA-B im Bereich der Güsse Nr. 4 bis 10 (s.auch Seite 36)

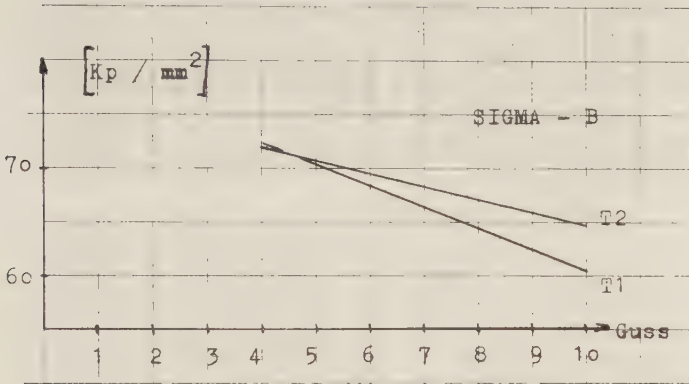


Abb. 22 : Signifikante Unterschiede bei Zugabe von Neumetall (N2 = Zugabe von 1/3 Neumetall, N1 = keine Neumetallzugabe) für SIGMA-B im Bereich der Güsse Nr. 4 bis Nr. 10 (s.auch Seite 36)

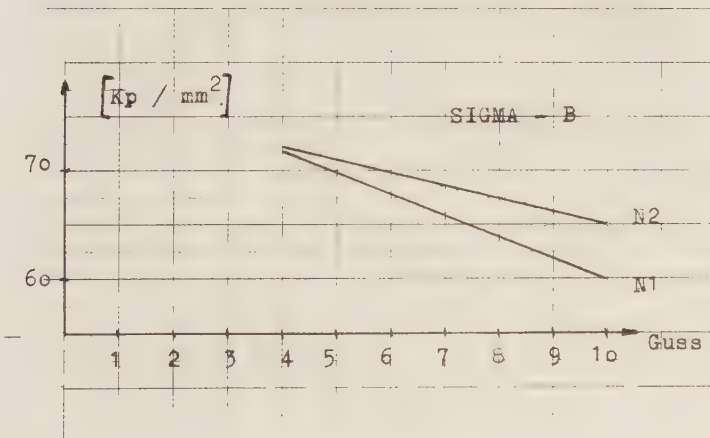
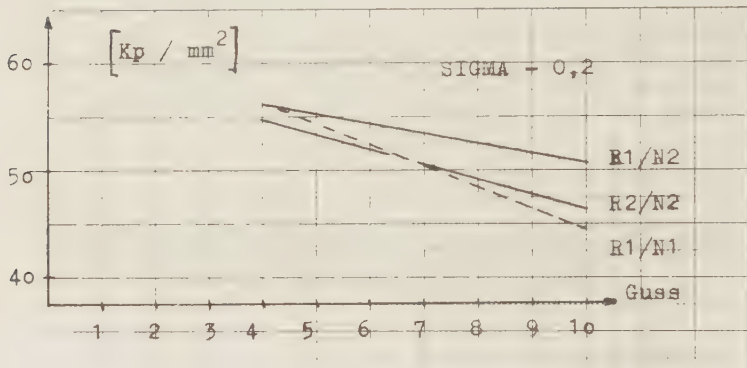


Abb. 23 : Signifikante Unterschiede des Verfahrens
"absäuern vor dem nächsten Guß/ keine Neume-
tallzugabe" (R1/N1; gestrichelt) zu den Ver-
fahren "absäuern vor dem nächsten Guß/Neume-
tallzugabe" (R1/N2 und "absäuern und einschmel-
zen vor dem nächsten Guß/Neumetallzugabe"
(R2/N2) für SIGMA-0,2 im Bereich der Güsse
Nr.4 bis Nr. 10
(s.auch Seite 37)



V. Literaturverzeichnis:

1. ASTM Metric Practice Guide, 2d ed, Philadelphia: American Society für Testing and Materials 1966
2. COLEMAN, R.L. :
Physical Properties of Dental Materials (Gold Alloys and Accessory Materials). Research Paper Nr 32 U.S. Government Printing Office, Washington 1928
3. DEGUSSA - Brief, Juli 1953 (neue Folge 19)
4. DEGUSSA - Brief, Februar 1954 (neue Folge Nr. 20/21), Seite 1 - 3
5. DIN Taschenbuch 19 - Materialprüfnormen für metallische Werkstoffe:
DIN 50124, DIN 50144, DIN 50145
Beuth - Vertrieb GmbH, Berlin, Köln, Frankfurt(1966)
6. GETTLEMAN, L. und HARRISON, J.D. :
Improved Tensile Specimen for Dental Casting Gold Alloys. J.dent. Res.48, 278 (1969)
7. KNEGTE, B. :
Der Härteabfall von Degulor M bei wiederholtem Einschmelzen
Inaug. Diss. Mainz, 1971
8. KÜHL, W. :
Prüfungen der mechanischen Eigenschaften bei den Legierungen B,S,C,M und Duallor G im Gußzustand
Zahnärztl. Welt/Reform 61, 536 (1960)
9. LEINFELDER, K.F. :
Porosities in dental gold castings - II.Effects of mold temperature, sprue - size and dimension of wax pattern.
J.Amer.Dent.Ass.67, 816 (1963)
10. MARX, H. :
Zum Problem eines einheitlichen Prüfkörpers für dentale Gußlegierungen.
Dtsch.zahnärztl. Z.26, 768 (1971)
11. MOELLER, K.P. :
Beitrag zur Klassifikation von Gußfehlern bei zahnärztlichen Metallarbeiten.
Med.Diss. Berlin, 1963
12. POMES, C.H. :
Die Oberflächenbeschaffenheit von Gußstücken.
Zahntechnik 4, 39 (1951)

13. SCHOLZ, M. :
Härteuntersuchungen über den Einfluß wiederholten Einschmelzens auf die Vergütbarkeit von Degulor M.
Inaug. Diss. Mainz, 1970
14. SHELL, J.S. :
Dental Materials
The C.V. Mosby Comp. St. Louis (1938)
15. SKINNER, E.W. und PHILLIPS, R.W. :
The Science of Dental Materials
W.B.Saunders Comp. Philadelphia, London 1967
16. WAGNER, E. :
Metallkundliche Betrachtungen des Gießens
von Goldlegierungen
Zahnärztl.Praxis 9, 201 (1958)
17. WAGNER, E. :
Über zweckmäßige Werkstoffe für Brückenarbeiten
Dtsch-zahnärztl.Z. 20, 173 (1965)
18. WEBER, E. :
Grundriß der biologischen Statistik
Stuttgart 1967
19. WEIKART, P. :
Werkstoffkunde für Zahnärzte
Carl Hanser - Verlag, München 1959
20. WENNSTROEM, A. :
Gußverfahren, Dichte und Korngröße einiger dentaler Edelmetalle
Transactions of the Royal School of Dentistry,
Stockholm und Umea 2, 1958

Besonderen Dank möchte ich Herrn Professor Dr. Marx für die freundliche Überlassung des Themas aussprechen.

Herrn Professor Koller und seinem Mitarbeiter Herrn Dr. Scheidt danke ich für die Unterstützung und Beratung bei der statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Herrn Dr. Wagner sage ich Dank für seine freundliche Beratung und die großzügige Stellung des Untersuchungsmaterials Degulor M.

Herrn Dipl. Ing. Kaiser und seinem Mitarbeiter Herrn Schindler danke ich für die ausführliche technische Beratung und Durchführung von Messungen.

LEBENS LAUF :

Am 13. 5. 1942 wurde ich als Sohn des Chemikers Dr. Richard Geisler und seiner Ehefrau Margarete, geb. Lippert in Auffig an der Elbe geboren.

Ich besuchte im Jahre 1949 die Volksschule in Hoheim / Main und ab 1950 in Frankfurt / Höchst. An der Main - Taunus - Schule in Hofheim/Ts. bestand ich im Frühjahr 1962 die Reifeprüfung. Im März 1962 wurde ich zur Bundeswehr eingezogen und im April 1964 entlassen.

Seit dem Sommersemester 1964 studierte ich Zahnheilkunde an der Johannes Gutenberg - Universität. Im Sommer 1970 erhielt ich mit Ablegung des Staatsexamens die Bestallung als Zahnarzt.

Ab November 1970 arbeitete ich zunächst als Stipendiat und ab 1.2.1971 als Verwalter einer wissenschaftlichen Planstelle in der zahnärztlich-chirurgischen Poliklinik der Zahn-, Mund- und Kieferklinik der Johannes Gutenberg - Universität.

Seit dem 1. 2. 1972 arbeite ich in der prothetischen Abteilung der gleichen Klinik.

Am 13. 10. 1971 heiratete ich Christel Kohlmann.

